

Aumento da produtividade no Armazém Automático

Tierri Fernandes Oliveira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Luís Filipe Ribeiro dos Santos Guimarães

Orientador na CIN, S.A.: Eng.^a Marta Sofia Miranda Fernandes



Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2016-07-04

*Give me six hours to chop down a tree
and I will spend the first four sharpening the axe.*

Abraham Lincoln

Resumo

No ambiente de mercado competitivo e em rápida mudança atual, as empresas estão a ser continuamente forçadas a melhorar a sua eficiência operacional. A distribuição é um dos processos mais importantes numa cadeia de abastecimento, e os armazéns são um dos seus pontos mais críticos e requerem um trabalho mais intensivo.

A gama de expectativas e exigências dos clientes estão-se a expandir num ritmo acelerado, pelo que as empresas precisam de organizar instalações flexíveis que permitam que menos pessoas façam mais tarefas usando melhor informação.

A separação de pedidos é a atividade que consome mais tempo e recursos em armazéns e centros de distribuição. Este processo deve ser concebido de forma robusta e otimamente controlado, a fim de operar eficientemente. Por estas razões, os gestores consideram-na como a área de maior prioridade quando se pretende obter melhorias de produtividade e redução de custos operacionais.

Esta dissertação aborda em pormenor o problema de otimização combinatória, tendo como objetivo a automatização do processo de alocação de pedidos aos postos de separação. Foi desenvolvida uma ferramenta de otimização baseada nas metaheurísticas de pesquisa local aleatorizada e pura para analisar e avaliar o desempenho do algoritmo criado.

Em conclusão, os resultados são promissores já que o algoritmo iterativamente diminuiu o número de tarefas necessário para completar a mesma quantidade de *picks* convergindo rapidamente para soluções satisfatórias.

Improving the “Automated Warehouse”'s productivity

Abstract

In today's competitive and rapidly changing market environment, companies are being continuously forced to improve their operational efficiency. Distribution is one of the most important processes in a supply chain and warehouses are one of their most labor intensive and critical nodes.

The range of customers' expectations and requirements are expanding at an accelerated pace so companies need to organize flexible facilities enabling fewer people to do more tasks using better information.

Order picking is one of the most time and resources consuming activities in warehousing and distribution centres. This process must be robustly designed and optimally controlled in order to operate efficiently. For these reasons, managers consider it as the highest-priority area for productivity improvements and operational costs reduction.

This dissertation studies in detail the combinatorial optimization issue, with the goal of automating the orders allocation process to picking stations. For these problems, there are some resolution approaches proposed that use heuristic procedures based on local search.

An optimization tool based on the randomized and pure local search metaheuristic was developed to analyse and evaluate the performance of the created algorithm.

In conclusion, the results are promising as the model iteratively decreased the number of tasks needed to complete the same amount of order picks quickly converging towards satisfactory solutions.

Agradecimentos

Ao Professor Luís Guimarães pela disponibilidade, paciência e empenho que sempre demonstrou para que este trabalho pudesse ser levado a bom termo, principalmente na sua última fase.

À Engenheira Marta Fernandes e restantes colaboradores do Centro de Distribuição pela oportunidade, orientação e disponibilidade em responder às minhas dúvidas ao longo do projeto.

Aos meus colegas e amigos do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão pelo companheirismo, entreaajuda e motivação dada.

Aos meus pais, irmão e restante família mais próxima por todo o apoio incondicional, ensinamentos e valores que sempre me transmitiram.

Índice de Conteúdos

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2. O Projeto «Aumento da produtividade no Armazém Automático» na CIN	1
1.2.1. A Empresa	1
1.2.2. O Departamento de Distribuição.....	2
1.2.3. O Armazém Automático.....	2
1.2.4. O Desafio.....	3
1.3. Objetivos do projeto	4
1.4. Método seguido no projeto.....	4
1.5. Estrutura da dissertação	4
2. Contexto e Estado da Arte	6
2.1. Gestão da Cadeia de Abastecimento e Gestão do Armazém	6
2.1.1. Operações em Armazéns	7
2.1.2. Sistemas de Gestão de Armazéns	9
2.2. Otimização Combinatória, Heurísticas e Metaheurísticas	10
2.2.1. Pesquisa Local	12
2.2.2. Metaheurísticas baseadas em Pesquisa Local.....	13
2.3. Filosofia <i>Lean</i>	13
3. Estruturação do Problema	16
3.1. Mapeamento dos Macroprocessos	16
3.2. Produtividade do Armazém Automático	17
3.3. Alocação e Sequenciamento.....	19
3.3.1. Produtos	19
3.3.2. Pedidos.....	20
3.4. Automatismo	26
3.5. Considerações Finais.....	30
4. Estruturação do Método de Resolução.....	31
4.1. Considerações Iniciais	31
4.2. Metodologia Proposta	31
4.2.1. Algoritmo de Sequenciamento.....	32
4.2.2. Algoritmo de Alocação	35
4.3. Síntese do Modelo	41
4.4. Considerações Finais.....	41
5. Análise de Resultados.....	43
5.1. Considerações Iniciais	43
5.2. Resultados da Metodologia Atual.....	43
5.3. Resultados da Metodologia Proposta	44
5.4. Comparação de Metodologias	46
6. Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro	47
Referências	49
ANEXO A: Cadastro de Artigos – Categoria de Localização	51
ANEXO B: Automatismo.....	52
ANEXO C: Aplicação Desenvolvida.....	56
ANEXO D: Omissão de Produtos que afetam apenas um Pedido	61
ANEXO E: Resultados Detalhados da Metodologia Atual	62
ANEXO F: Resultados Detalhados da Metodologia Proposta	63

Siglas

- AS/RS – Automated Storage and Retrieval System
- ERP – Enterprise Resource Planning
- FEFO – First Expired, First Out
- JIT – Just in Time
- KPI – Key Performance Indicator
- PLA – Pesquisa Local Aleatorizada
- POC – Problemas de Otimização Combinatória
- RFID – Radio-Frequency Identification
- SA – Simulated Annealing
- SCM – Supply Chain Management
- SGA – Sistema de Gestão de Armazém
- SKU – Stock Keeping Unit
- TS – Tabu Search
- VSM – Value Stream Mapping
- VTD – Veículo Transferidor Distribuidor
- WMS – Warehouse Management System

Índice de Figuras

Figura 1 – Volume de negócios do Grupo CIN entre 2012 e 2015 (adaptado de CIN, 2016)	3
Figura 2 – Funções típicas de um armazém com fluxo em “U” (adaptado de Guedes, 2012)	8
Figura 3 – Benefícios de um Sistema de Gestão de Armazéns (adaptado de Tompkins, 1998)	10
Figura 4 – Pseudocódigo do algoritmo genérico de pesquisa local (adaptado de Madureira, 1995)	12
Figura 5 – Diagrama-casa do Sistema de Produção Toyota (adaptado de Larman e Vodde, 2009)	15
Figura 6 – Mapeamento dos Macroprocessos de Receção e Armazenagem	16
Figura 7 - Mapeamento dos Macroprocessos de Separação	17
Figura 8 – Conceitos de <i>pick</i> , tarefa e volta	18
Figura 9 – Fluxograma do algoritmo de alocação de pedidos aos postos de separação	22
Figura 10 – Fluxograma do algoritmo de sequenciamento de pedidos nas mesas de separação	23
Figura 11 – Principais etapas que ocorrem durante a volta de uma paleta	26
Figura 12 – Processo Geral para obter a Solução Final	32
Figura 13 – Fluxograma do Algoritmo de Sequenciamento	33
Figura 14 – Mecanismo gerador de grupos-candidatos (Exemplo 4.2)	38
Figura 15 – Trocas efetuadas entre 2 grupos com 5 pedidos	39
Figura 16 – Fluxograma do Algoritmo de Alocação	40
Figura 17 – Solução final considerando todas as restrições (15/03/2016)	42
Figura 18 – Exemplo da organização dos resultados reais por dia (10/02/2016)	44
Figura 19 – Gráficos “Número de Corridas × Número de Tarefas” para cada situação do dia 12 de fevereiro	45
Figura 20 – Gráfico “Número de Tarefas Reduzidas na Componente 2” para cada situação dos dias analisados	45
Figura 21 – <i>Ranking</i> de Empilhabilidade	51
Figura 22 – Classificação ABC	51
Figura 23 – Leitura dos dados de entrada	57
Figura 24 – Geração de um grupo inicial de 5 pedidos	57
Figura 25 – Geração aleatória das vizinhanças	57
Figura 26 – Cálculo do KPI combinado de um grupo e comparação com o grupo atual	58
Figura 27 – Geração de uma solução	58
Figura 28 – Geração de 1000 iterações e escolha da melhor solução	59
Figura 29 – Trocas de pedidos entre grupos diferentes da solução obtida e apresentação da solução final	60

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Dados do Armazém Automático	2
Tabela 2 – Valores médios mensais da produtividade no Armazém Automático entre novembro de 2015 e maio de 2016 consoante o turno (turno diurno – TD; turno noturno – TN)	19
Tabela 3 – Restrições na alocação e sequenciamento de pedidos nos postos e mesas de separação.....	21
Tabela 4 – Contagem do número de <i>picks</i> efetuados por tarefa	24
Tabela 5 - Contagem do número de tarefas efetuadas por volta	24
Tabela 6 – Contagem de produtos pelos pedidos que servem por dia (somatório das amostras diárias obtidas entre 8 e 17 de fevereiro)	24
Tabela 7 – Contagem do número de movimentos das paletes que fazem pelo menos uma visita a dois postos na mesma volta	25
Tabela 8 – Pedidos que podem ser lançados às 15 horas de um determinado dia	33
Tabela 9 – Geração da ordem de prioridade para cada pedido	34
Tabela 10 – Organização dos pedidos em classes de prioridades	34
Tabela 11 – Matriz de associação entre os pedidos que devem ser lançados num determinado dia e os tipos de produtos que as constituem	36
Tabela 12 – Exemplo do cálculo do KPI combinado de um grupo inicial de 5 pedidos	37
Tabela 13 – Listas criadas para testar a ferramenta desenvolvida, considerando as restrições do Plano de Distribuição.....	42
Tabela 14 – Indicadores relativos aos dados das instâncias reais (valores médios)	44
Tabela 15 – Indicadores relativos às melhores soluções encontradas para cada dia e situação analisados (valores médios)	46
Tabela 16 – Comparação dos indicadores entre as metodologias.....	46
Tabela 17 – Tempos produtivos e não produtivos nos postos de separação	52
Tabela 18 – Duração das operações de Verificação do Código e Separação do Produto	52
Tabela 19 – Horário de receções de produtos das 3 origens possíveis (Nováqua, N; Nave Central, NC; Megadur, M) cujo destino é armazenar dentro ou fora do Armazém Automático	53
Tabela 20 – Tempo que os operadores demoram a corrigir os erros dos <i>robots</i>	54
Tabela 21 – Tempo que os operadores demoram a fazer <i>resets</i> aos <i>robots</i>	54
Tabela 22 – Tempo que os operadores demoram a corrigir os erros das enfardadoras	55
Tabela 23 – Cálculo do KPI combinado dos 2 grupos sem haver remoção das linhas correspondentes aos produtos que afetam apenas um pedido.....	61
Tabela 24 – Cálculo do número de tarefas das duas possibilidades de solução consideradas	61
Tabela 25 – Cálculo do KPI combinado dos 2 grupos após a remoção das linhas correspondentes aos produtos que afetam apenas um pedido.....	61
Tabela 26 – Indicadores relativos aos dados das instâncias reais para cada dia analisado	62
Tabela 27 – Indicadores relativos às melhores soluções encontradas para cada dia e situação analisados	63

1. Introdução

1.1. Enquadramento do projeto e motivação

O presente projeto foi desenvolvido no âmbito da componente Dissertação em ambiente empresarial do 5.º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O trabalho académico decorreu na CIN – Corporação Industrial do Norte, S.A., mais concretamente no seu Centro de Distribuição, que se encontra sediado na Maia.

Nos últimos anos, a importância da melhoria contínua dos processos logísticos evoluiu e a empresa necessita de melhorar constantemente os níveis de satisfação dos clientes, qualidade do serviço, produtividade e rentabilidade para se manter competitiva.

O Centro de Distribuição Automatizado integra o sistema logístico global e representa uma peça essencial dos processos de logística interna e movimentação de produtos.

Com base nisso, surge o desafio de aumentar a produtividade no Armazém Automático.

1.2. O Projeto «Aumento da produtividade no Armazém Automático» na CIN

1.2.1. A Empresa

O Grupo CIN foi fundado em 1917 e o nome atual vigora desde 1926. Este Grupo é presidido pelo Eng.º João Manuel Fialho Martins Serrenho e intervém no mercado de tintas e vernizes através de empresas distribuídas por Portugal, Espanha, França, Angola e Moçambique: CIN, CIN Industrial Coatings, CIN Valentine, Tintas CIN Angola e Tintas CIN Moçambique.

A empresa-mãe é a CIN – Corporação Industrial do Norte, S.A. – e a sua principal atividade é a produção e comercialização de tintas, vernizes e produtos afins.

Atualmente, opera em várias regiões do mundo através das suas unidades produtivas, centros de distribuição, centros de investigação e desenvolvimento, e escritórios, empregando ao todo mais de 1000 colaboradores.

Os seus produtos são distribuídos na Península Ibérica através de uma rede de mais de 100 lojas próprias, para além de franchisados, concessionados e revendedores autorizados. A empresa também exporta para vários mercados da Europa Central e da América Latina.

Relativamente aos segmentos de mercado, atua nos Decorativos, Indústria, Anticorrosão e Acessórios, com pesos distintos consoante o mercado onde estiver presente.

A CIN tem a tripla certificação Qualidade, Segurança e Ambiente (ISO 9001, ISO 14 001 e OSHAS 18001) e é a única empresa nacional do setor pertencente ao Conselho Europeu de Fabricantes de Tintas. Também é membro ativo em outras associações, tal como a CRGI - Coatings Research Group Inc., Nova Paint Club, ESTAL, QUALICOAT, APT e ASEFAPI.

Em termos competitivos, lidera o mercado nacional desde 1992 e o ibérico desde 1995. Segundo a prestigiada *Coatings World Magazine*, ocupava o 53.º lugar no *ranking* mundial de produtores de tintas e vernizes em 2014.

Em 2015, o Grupo teve um volume de negócios de 200 milhões de euros. Estrategicamente, a empresa apenas aposta nos mercados onde detenha as valências necessárias para garantir uma posição de liderança.

1.2.2. O Departamento de Distribuição

Embora a distribuição não seja o *core business* da empresa, constitui uma parte estratégica do negócio.

O Departamento de Distribuição da CIN está sob a alçada da Direção de Operações e tem as seguintes funções principais:

- Definição do plano nacional e internacional de distribuição do Grupo CIN;
- Gestão da distribuição nacional e internacional dos produtos do Grupo CIN a partir de um Centro de Distribuição, assegurando um sistema de entregas em 48 horas em todo o território de Portugal Continental;
- Garantia de receção, conferência e acondicionamento dos produtos de fornecedores internos e externos;
- Gestão de separação e de expedição (clientes internos e externos);
- Gestão de envios terrestres, aéreos ou marítimos.

1.2.3. O Armazém Automático

O Centro de Distribuição Automatizado da CIN encontra-se a funcionar em pleno desde 2004. A automatização ficou a cargo da empresa ULMA Handling Systems, com a finalidade de modernizar e centralizar sustentada e gradualmente o seu sistema de distribuição, diminuir os gastos de exploração e melhorar os seus índices de produtividade e satisfação dos clientes.

Implantado numa área de 17.000 m², o Centro tem uma área coberta de 7.000 m², distribuída pelas seguintes áreas operacionais: Receção (500 m²), Armazenagem (4.000 m²), *Picking* para a preparação de pedidos (900 m²) e Consolidação de Pedidos e Expedição (1.600 m²).

A solução da ULMA dotou o Centro de Distribuição de um armazém de contentores e outro de paletes.

A separação de pedidos na zona de paletes ficou disposta em 4 postos de *picking* (3 no piso inferior e 1 no 1.º andar), cada um com 5 mesas de depósito. Ela é efetuada para paletes vazias que são colocadas em veículos transferidores distribuidores (VTD's).

O sistema de transporte também move as paletes geradas pelo *picking* até ao tapete de saída. O sistema de preparação simultânea de pedidos dispõe de uma solução de 32 *displays put to light*, diminuindo a possibilidade de erro por parte dos operadores.

A capacidade total da solução da ULMA é descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados do Armazém Automático

	Armazém de Contentores	Armazém de Paletes
Estantes	2	10
Posições Horizontais	58	91
Níveis	52	15
Capacidade Total (espaços)	6032	13650

O Armazém Automático funciona da seguinte forma:

- 1) Os produtos recebidos no armazém são submetidos a um controlo dimensional e de peso e, de seguida, movimentados por transportadores. A armazenagem é feita através de

robotização e o algoritmo de atribuição de localizações para armazenagem utiliza o critério de classificação por zonas A, B e C consoante o nível de rotação interna do armazém;

- 2) Paralelamente ao processo de receção e armazenagem, os pedidos dos clientes são consolidados e efetua-se a sua preparação. A alocação dos pedidos no posto e mesa de separação é prioritizada e libertada pelo Departamento de Sistema de Gestão de Armazém (SGA) de forma manual e sem visão do conteúdo de cada pedido.
- 3) Finalmente, as paletes podem ser agrupadas na expedição.

Todos os processos tecnológicos desenvolvidos, desenhados e aplicados neste sistema de movimentação das paletes, robotização, *picking* e consolidação final são preponderantes no desenvolvimento de operações de grande produtividade.

Um ano depois da entrada em funcionamento do sistema, foi garantida a integração logística e obtidas melhorias de produtividade na ordem dos 20%. A capacidade de armazenagem aumentou utilizando menos espaço, a utilização de recursos foi reduzida e a fiabilidade nas operações foi garantida. Em suma, todo o processo de reposição e distribuição dos produtos tornou-se mais eficaz e a qualidade do serviço superior.

1.2.4. O Desafio

Durante os últimos anos, a CIN tem tido uma expansão crescente. Em 2015, o volume de negócios ascendeu aos 200 milhões de euros, evidenciando um aumento gradual desde 2012, como é mostrado na Figura 2 (CIN, 2016).

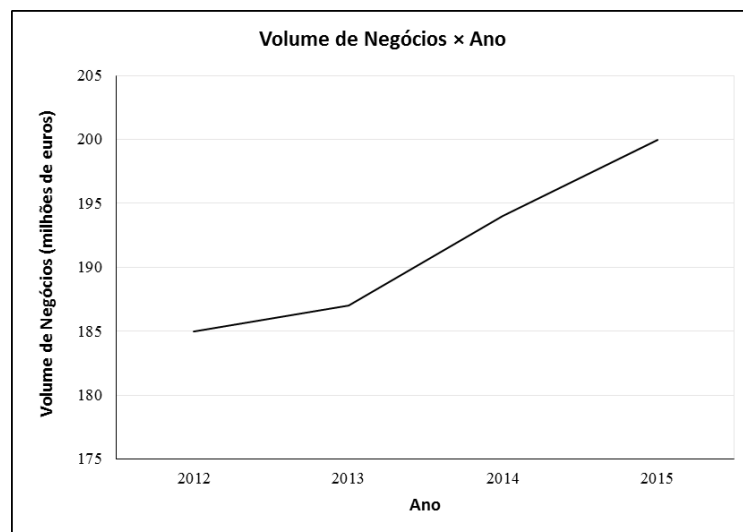


Figura 1 – Volume de negócios do Grupo CIN entre 2012 e 2015 (adaptado de CIN, 2016)

A sua organização precisa de se adaptar aos novos desafios que encontra de forma a não comprometer as exigências dos seus clientes.

A melhoria contínua dos processos logísticos é fundamental e o Armazém Automático é parte integrante do sistema logístico global.

A competição entre empresas é cada vez mais intensa, pelo que o propósito deste projeto é identificar oportunidades de melhoria na gestão deste Armazém para aumentar a sua produtividade, partindo da realização de um diagnóstico da situação atual. O impacto desse

progresso permitiria uma gestão mais eficaz da distribuição nacional e internacional, e das suas rotas.

Mantendo a integração do Armazém Automático com os outros sistemas existentes, a passagem para um nível superior de produtividade seria possível com uma otimização da alocação dos pedidos nos postos de separação, dos tempos das operações e das paragens.

Nestas componentes, existem melhorias a desenvolver. A alocação é feita manualmente pelo Departamento de SGA sem que o conteúdo dos pedidos seja analisado. Além disso, o tempo não produtivo relacionado com alguns problemas operacionais encontrados, como o facto de os operadores não estarem a tempo inteiro nos postos de separação ou a organização dos produtos nas paletes, é muito elevado.

1.3. Objetivos do projeto

O principal objetivo deste projeto é aumentar a produtividade no Armazém Automático, ou seja, o número de *pickings* por unidade de tempo.

O estudo desenvolvido inclui a definição do sequenciamento para *picking* das linhas de encomenda dos clientes e de indicadores-chave de desempenho (*Key Performance Indicators*, KPI's) relativos à produtividade e a sugestão de práticas de melhoria contínua para os processos existentes na zona de separação e a sua envolvente.

1.4. Método seguido no projeto

Este projeto teve início a 29 de fevereiro e o seu término a 23 de junho de 2016, encontrando-se dividido em 5 fases:

- 1.ª fase (29/02-13/03): consistiu na integração na Empresa e na formação nas várias áreas do processo logístico, de forma a reconhecer procedimentos standardizados e a ligação entre elas. As áreas envolvidas foram as seguintes: Departamento de SGA (área administrativa), Separação, Expedição, Receção, Devoluções e Departamento de Planeamento (interligação com a Distribuição). Durante este período, também se iniciou a pesquisa bibliográfica de assuntos relacionados com o projeto;
- 2.ª fase (14/03-15/04): envolveu a assimilação do problema e a recolha de dados para serem analisados. Nesta etapa, inclui-se o mapeamento dos macroprocessos e o registo do tempo que as atividades de *picking* demoram a ser realizadas para que fosse possível identificar os elementos críticos. A obtenção do algoritmo de atribuição de localizações para armazenagem do Armazém Automático e das listas de movimentos das paletes também foi feita neste período;
- 3.ª fase (16/04-20/05): foram analisados alguns parâmetros: receção, *stock*, movimentos e níveis de atividade. Com base nesta análise, foram listadas propostas preventivas e corretivas de melhoria contínua;
- 4.ª fase (21/05-11/06): foi desenvolvida uma ferramenta em linguagem Java para auxílio na tomada de decisão da alocação e sequenciamento para *picking* das linhas de encomendas dos clientes, utilizando heurísticas de pesquisa local e vizinhanças e tendo em consideração as restrições. Através dos resultados da aplicação, foi criado um KPI auxiliar relativo à produtividade, designado *picks* por tarefa;
- 5.ª fase (12/06-23/06): focou-se na elaboração da dissertação e projeção de resultados.

1.5. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

Este primeiro capítulo é introdutório, tendo sido apresentada a empresa e o departamento onde o projeto decorreu, a descrição do desafio proposto, os seus objetivos, a metodologia utilizada para organizar o trabalho e o planeamento das tarefas a executar.

No segundo capítulo, é feito o enquadramento teórico do problema, sendo as matérias que sustentam as soluções propostas devidamente revistas.

A estruturação do problema é apresentada no terceiro capítulo. As metodologias atualmente utilizadas na alocação e sequenciamento para *picking* das linhas de encomenda dos clientes são descritas e os tempos produtivos e não produtivos da separação são devidamente identificados.

No quarto capítulo, é apresentada a metodologia proposta para o sequenciamento e a alocação dos pedidos, bem como a ferramenta informática desenvolvida para testá-la e validá-la.

A análise de resultados das duas metodologias é feita ao longo do quinto capítulo.

Por fim, são enunciadas as conclusões finais, às quais são acrescentadas sugestões para possíveis trabalhos futuros de melhoria.

2. Contexto e Estado da Arte

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica acerca de conceitos e ferramentas utilizadas no desenvolvimento do presente projeto, para entender e expor um conjunto de boas práticas e metodologias que se possam traduzir numa melhoria dos atuais processos da empresa.

Inicialmente, são introduzidos os conceitos de gestão da cadeia de abastecimento e do armazém. Dentro desta parte, é realizada uma descrição das atividades dos armazéns e dos sistemas de gestão de armazéns.

De seguida, é feita uma abordagem a algumas técnicas utilizadas em gestão de operações e otimização combinatória para resolver de forma estruturada problemas de alocação e sequenciamento.

Finalmente, é realizada uma revisão de literatura da filosofia do Sistema de Produção Toyota e as principais ferramentas *Lean*, úteis para a análise dos tempos produtivos e não produtivos da operação de *picking*.

2.1. Gestão da Cadeia de Abastecimento e Gestão do Armazém

Cooper e Lambert (2000) defendem que o êxito das empresas está cada vez mais dependente da capacidade de integração entre todos os elos das suas cadeias de valor, sendo que deve haver confiança mútua e nos sistemas de informação. A gestão deste ciclo logístico designa-se por Gestão da Cadeia de Abastecimento (*Supply Chain Management*, SCM). Esta metodologia visa criar estratégias para gerir a procura e o uso dos materiais e serviços (Riggs e Robbins, 1998).

Um dos pilares da logística é a Gestão do Armazém (Carvalho, 2002). O armazém é o espaço físico onde se confiam matérias-primas, produtos semi-acabados ou acabados que serão transferidos ao ciclo seguinte da cadeia de distribuição (Cooper *et al.*, 1998), providenciando informações de gestão sobre a sua condição e disponibilidade (Dias, 2005).

Segundo Gu *et al.* (2007), as suas principais funções são:

- Controlo do fluxo de material transferido ao longo da cadeia de abastecimento (*buffer*) para minorar a variabilidade causada por fatores como a sazonalidade da produção e o transporte ou produção em lotes;
- Consolidação dos produtos oriundos de diversos fornecedores para a sua entrega combinada aos consumidores;
- Execução de serviços de valor acrescentado, como a customização do produto, montagem de *kits* (*kitting*), rotulagem e colocação de preços manual ou automática (*pricing*).

A elevada competitividade e volatilidade no mercado está a pressionar as empresas a focarem numa satisfação rápida e eficiente das encomendas com cadências elevadas que tendem a fluxos contínuos. Isto requer uma melhoria contínua no projeto e operação dos centros de distribuição, que por sua vez exige uma melhor performance dos armazéns a eles afetos (Baker *et al.*, 2010). Por outro lado, a adoção de novas filosofias de gestão como *Just in Time* (JIT) e *Lean* vêm trazer novos desafios para os armazéns, tais como a redução do nível de inventário, a redução do tempo de chegada ao mercado e o aumento da variedade de produtos (Gu *et al.*, 2007), que devem ser assegurados com tolerâncias rigorosas de velocidade, de precisão e de falta de danos (Baker, 2004).

Guedes (2012) afirma que os sistemas de armazenagem de produtos devem providenciar os meios necessários para mantê-los nas quantidades requeridas, no ambiente mais apropriado e

ao menor custo possível, ou seja, a sua principal função é manter produtos em *stock*. Isto é fundamental para garantir:

- Serviço aos clientes;
- Amortecimento entre a procura e o fornecimento;
- Cobertura de situações de flutuação sazonal;
- Resposta em situações de falha da produção;
- Reserva estratégica;
- Manutenção do *stock* de produtos em processo de fabrico.

Os equipamentos e os sistemas de informação e movimentação devem estar adaptados à realidade das empresas e dos armazéns. Embora algumas redes de distribuição sejam planeadas desde o início da operação de uma empresa, essa ocorrência é rara. Na maioria dos casos, estas redes simplesmente evoluem com o crescimento da empresa.

A armazenagem conquistou um lugar de destaque na cadeia de valor e exige um grau de especialização cada vez maior para se tornar numa vantagem competitiva. Devido à natureza das suas instalações, pessoal e equipamentos necessários, são muitas vezes os elementos mais caros da cadeia de abastecimento e, portanto, a sua gestão bem-sucedida é crítica em termos de custo e serviço.

Na gestão de armazéns, existem dois grandes níveis de decisões: decisões de projeto e decisões operacionais (Gu *et al.*, 2007).

As primeiras são respeitantes às atividades de receção, armazenagem, seleção e preparação de encomendas e expedição. As segundas estão ligadas a um horizonte temporal mais longo e podem ser relativas a:

- Estrutura global: identificação dos diferentes setores do armazém e da sua localização relativa;
- Tamanho e dimensionamento: escolha da dimensão do armazém e dos seus diferentes setores e departamentos;
- Equipamentos: eleição do nível de automação a utilizar e dos equipamentos necessários para a armazenagem e para o transporte dos produtos no armazém;
- *Layout*: seleção do desenho do *layout* tendo em conta as características dos produtos, os perfis das encomendas consoante rotas ou sequências de processos, a importância do fornecedor ou cliente com a colocação de produtos únicos em zonas específicas que permitam um *picking* mais rápido e com menores distâncias percorridas, o nível de atividade distinguindo os produtos de reserva dos que estão destinados ao *picking* ou ao *cross-docking*, e os métodos de armazenagem e manuseamento.

2.1.1. Operações em Armazéns

O funcionamento de um armazém pode ser resumido em 4 operações capitais: entrada de mercadorias, armazenagem, seleção e preparação das encomendas (*picking*) e saída de mercadorias. Neste grupo, pode ainda ser incluída a ordenação e consolidação de encomendas (Guedes, 2012).

A Figura 2 sintetiza as funções típicas de um armazém com fluxo em “U”.

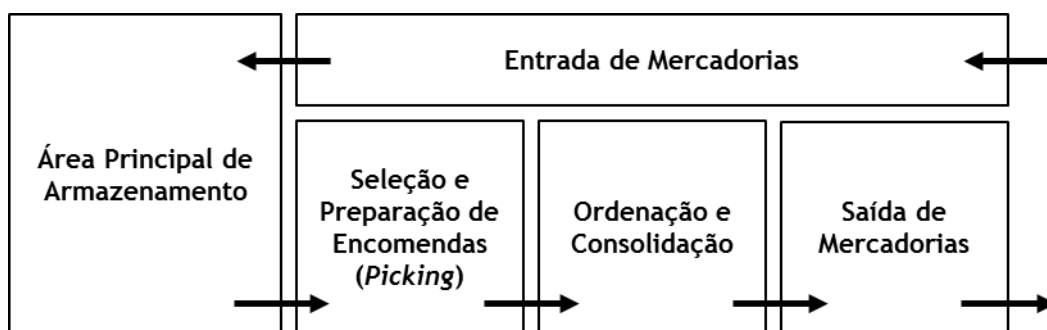


Figura 2 – Funções típicas de um armazém com fluxo em “U” (adaptado de Guedes, 2012)

Cada uma destas atividades necessita de ser cuidadosamente implementada, operada e coordenada, bem como a respetiva alocação de recursos como o espaço, o equipamento e a mão-de-obra. Só assim será possível atingir os requisitos de capacidade, *throughput* (fluxo) e nível de serviço ao mínimo custo (Gu *et al.*, 2007).

Entrada de Mercadorias

Esta operação inclui o agendamento e coordenação da receção e descarga de veículos e a respetiva alocação de recursos de mão-de-obra e equipamentos (Gu *et al.*, 2007), o controlo das mercadorias entregues, a verificação de danos e da conformidade da carga, encomenda e guia de transporte (Bartholdi III e Hackman, 2010), a decisão sobre a localização dos produtos e o registo das entradas no Sistema de Gestão de Armazéns.

A entrada de mercadorias corresponde a aproximadamente 10% dos custos operacionais do armazém (Frazelle, 2002), sendo que a utilização de mecanismos de identificação por radiofrequência (*Radio-Frequency Identification*, RFID) permite que este valor seja reduzido (Bartholdi III e Hackman, 2010).

Armazenagem

A armazenagem é considerada a principal operação de um armazém (Gu *et al.*, 2007).

Este processo visa a alocação dos diferentes itens de *stock*, normalmente associados a um código identificador (*Stock Keeping Units*, SKU's), a localizações de armazenagem disponíveis na área principal de *stock*, a confirmação para o sistema de controlo da localização selecionada, a atualização de inventário, a permanência física dos produtos no armazém enquanto não são requeridos para expedição e o despacho de mercadorias para fornecer a área de *stock* para preparação de encomendas.

A alocação segue os princípios da política escolhida para o desenho do *layout* do armazém, que depende dos fluxos dos materiais e das interações entre as diferentes atividades que lá decorrem. O espaço necessário deve ser determinado e está relacionado com a variedade de produtos, das políticas de inventário, dos métodos de armazenagem, entre muitos outros fatores. Também devem ser consideradas as condições nas quais os produtos devem ser armazenados e as limitações físicas do espaço (Hales, 2006).

Seleção e Preparação de Encomendas - *Picking*

O *picking* consiste na tarefa de recolher os artigos que o cliente deseja, na quantidade certa e quando o cliente deseja, a partir das unidades de carga usadas no armazém. A ocorrência desta operação visa a existência de uma posição de armazenagem no mínimo por artigo, a redução do movimento dos operadores, a separação do *stock* de reserva do *stock* para preparação de

encomendas, a minimização do congestionamento da superfície de recolha e o evitamento de falta de *stock* na superfície de recolha (Guedes, 2012).

Esta é uma das atividades que consome mais tempo e recursos nos armazéns, correspondendo a cerca de 55% dos custos operacionais do armazém (Frazelle, 2002) e sendo considerada a área prioritária a analisar quando se pretende alcançar aumentos de produtividade (De Koster *et al.*, 2007).

O grande objetivo é minimizar o tempo da operação e, consequentemente, maximizar o nível de serviço, que está sujeito a restrições de recursos, como mão-de-obra, equipamentos e capital (Ashayeri e Goetschalckx, 1989). Quanto menos tempo demorar a recolha de uma encomenda, mais rapidamente esta será enviada para o cliente. No entanto, se uma encomenda não cumprir o seu período de envio, ela pode-se atrasar até ao período de expedição seguinte.

As novas tendências no fabrico e distribuição aumentaram a complexidade do planeamento e da gestão do *picking*. Atualmente, as empresas aceitam pedidos atrasados ou urgentes mantendo a possibilidade de entrega rápida dentro de prazos curtos, o que resulta num curto período de tempo disponível para a sua separação (De Koster *et al.*, 2007).

Esta operação pode ser executada manualmente ou de uma forma automatizada, e a gama de equipamentos é muito ampla. Segundo De Koster *et al.* (2007) e Baker *et al.* (2010), os sistemas de *picking* podem ser classificados em 3 categorias principais:

- *Picker-to-goods*: os operadores percorrem o armazém para recolher os produtos. Formam a grande maioria dos sistemas de *picking* em todo o mundo, correspondendo a mais de 80% na Europa Ocidental;
- *Goods-to-picker*: consiste em sistemas automatizados de recolha e de armazenagem, que usualmente utilizam gruas situadas nos corredores que recolhem uma ou mais unidades (paletes ou caixas) e as depositam num ponto de recolha. Aí, o operador retira o número requerido de caixas e a restante carga é armazenada novamente;
- Sistemas automatizados (*Automated Storage and Retrieval Systems*, AS/RS): enquanto as duas categorias anteriores requerem um operador a separar os itens que pertencem a uma encomenda, também existem sistemas mecanizados que são adequados para determinados casos, nomeadamente quando envolvem itens valiosos, pequenos e delicados.

Ordenação e Consolidação

Quando economicamente é justificável recolher todos os fornecimentos de várias origens num armazém, a opção de consolidar e agregar as várias entregas por cargas ou encomendas e fazê-las num único carregamento deve ser tida em conta (Guedes, 2012).

Saída de Mercadorias

Esta operação envolve a colocação dos produtos da encomenda no equipamento do veículo transportador, a planificação e organização das cargas por cliente, a alocação de recursos e de veículos aos cais de expedição, o envio e a expedição (Rouwenhorst *et al.*, 2000).

2.1.2. Sistemas de Gestão de Armazéns

Uma das partes mais importantes da cadeia de abastecimento são os Sistemas de Gestão de Armazéns, SGA (ou *Warehouse Management Systems*, WMS). Criados para monitorizar os processos do armazém, as suas operações e transações, estas ferramentas logísticas consistem

em bases de dados estruturadas que medem o que aconteceu, quando aconteceu e permitem o acesso imediato a todas estas informações (Ballard, 1996).

Além do controlo do movimento e armazenagem dos produtos em tempo real, muitos sistemas também incluem a gestão de transportes, encomendas e contabilidade com diretivas inteligentes.

Assim, uma empresa equipada com este sistema pode seguir todos os passos do percurso de um item desde a receção até à saída.

Um SGA que seja operacional permite à empresa manter o normal funcionamento com uma elevada confiabilidade, dependendo cada vez menos das pessoas. Segundo Ballard (1996), Smith e Tompkins (1998), esses fatores permitem grandes vantagens competitivas, tais como:

- Melhoria da qualidade da informação;
- Redução de erros e rápida identificação daqueles que possam ocorrer;
- Aumento dos níveis de integração do negócio;
- Possibilidade de realização de inventários cíclicos ao longo do ano;
- Diminuição do número de reclamações dos clientes;
- Otimização do espaço do armazém;
- Aumento da produtividade.

Estes benefícios estão organizados na Figura 3.

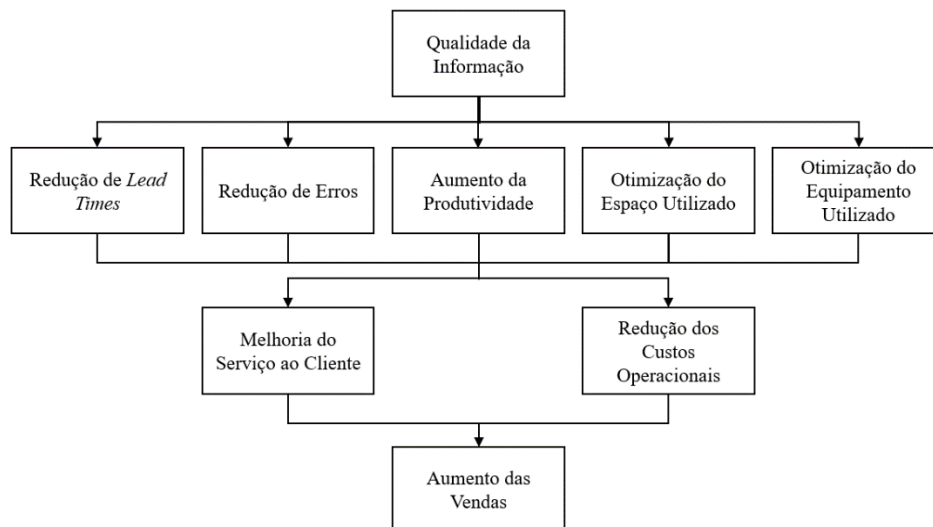


Figura 3 – Benefícios de um Sistema de Gestão de Armazéns (adaptado de Tompkins, 1998)

2.2. Otimização Combinatória, Heurísticas e Metaheurísticas

A forma como os recursos das organizações são utilizados depende da tomada de decisão dos seus gestores. Como parte da informação necessária para tomar estas decisões é quantitativa ou numérica, ela deve ser valorizada, analisada e utilizada convenientemente.

A análise de modelos quantitativos e ferramentas teóricas, e o tratamento de dados para a preparação de decisões são cada vez mais importantes para suportar as melhores práticas de gestão de operações.

Segundo Carravilla e Oliveira (2001), os problemas podem ser classificados em problemas de decisão ou de otimização. Os primeiros supõem apenas uma resposta do tipo “Sim” ou “Não”. Os segundos devem ser abordados de uma forma estruturada e visam a descoberta da melhor

solução através de uma sequência de problemas de decisão, ou seja, repete-se a pergunta com valores sucessivamente mais exigentes até a resposta ser “Não”.

Feo e Resende (1995) defendem que os problemas de otimização que envolvem um número elevado mas finito de alternativas surgem frequentemente em vários setores de atividade.

Teoricamente é possível enumerar todas as combinações possíveis para este tipo de problemas e avaliar cada uma em relação a um objetivo previamente estabelecido. Aquelas que providenciarem o melhor resultado são consideradas ótimas. No entanto, do ponto de vista prático, esta estratégia de enumeração completa não pode ser adotada já que o número de combinações aumenta exponencialmente com a dimensão e a complexidade do problema.

O desenvolvimento de métodos de pesquisa ótimos que não requeiram explicitamente a análise de cada alternativa tem sido investigado nos últimos anos, tornando possível a evolução do campo da Otimização Combinatória. Uma das partes do problema proposto – alocação e sequenciamento de pedidos nos postos de separação – insere-se num conjunto de problemas de otimização combinatória (POC), que são problemas de otimização matemática com um conjunto de soluções admissíveis discreto (Feo e Resende, 1995).

Atualmente, esta é uma das áreas mais estudadas em investigação operacional, ciências da computação e matemática aplicada (Du e Pardalos, 1998).

Ropke (2005) afirma que a resolução destes problemas pode envolver 3 tipos de abordagem:

- Algoritmos de aproximação: fornecem uma solução e dão uma medida de diferença em relação à solução ótima;
- Técnicas exatas: obtêm e garantem uma solução ótima;
- Métodos heurísticos: obtêm boas soluções de uma forma eficiente, apesar de não obterem a solução ótima ou, caso a obtenham, não são capazes garantir que ela o é.

Alcançar a solução ótima pode ser muito difícil e o processo muito demorado, ou mesmo impossível em tempo polinomial, como é o caso dos problemas *NP-Hard*. No entanto, pode nem ser especialmente importante para a aplicação prática e concreta que se pretende obter. Daí o aparecimento dos algoritmos heurísticos, que são flexíveis, simples e fáceis de implementar, além de terem tempos de execução curtos. Carravilla, Oliveira (2001) e Ropke (2005) dividem as heurísticas em 3 grandes classes:

- Construtivas: constroem uma solução passo-a-passo, segundo um conjunto de regras pré-estabelecido. Existe a escolha do ponto inicial (inicialização), a identificação de um critério para a eleição do elemento seguinte a juntar à solução (seleção) e a seleção da posição onde esse novo elemento será introduzido (inserção);
- de Melhoramento: partem de uma solução admissível aleatória e procuram melhorá-la através de sucessivas e pequenas alterações;
- Metaheurísticas: combinam procedimentos de melhoria locais, conhecimento histórico de resultados adquiridos anteriormente e estratégias de nível superior para realizar as suas pesquisas pelas vizinhanças e escapar eficientemente a mínimos locais (Gendreau e Potvin, 2010).

Por vezes, a descrição de um problema real é muito vaga. Contudo, um modelo não pode ser ambíguo e qualquer indivíduo deve entender sempre a mesma ideia que ele representa desde que esteja minimamente qualificado para o efeito. A utilização de um texto ou notação matemática ajuda a clarificá-lo. Quanto mais simples for, melhores serão as suas condições de resolução.

De seguida, segue um breve apontamento que apresenta, de forma concisa, os aspetos mais relevantes da heurística de melhoramento de pesquisa local e de algumas metaheurísticas associadas.

2.2.1. Pesquisa Local

Talbi (2009) define o método de pesquisa local e vizinhanças com base na tentativa e erro de forma sistemática, podendo começar com uma solução arbitrária ou determinada por uma heurística construtiva $x_1 \in X$, em que X consiste num conjunto discreto de pontos. Em cada iteração n , é selecionada uma nova solução x_{n+1} na vizinhança $N(x_n)$ da solução atual x_n , o que implica a definição da estrutura da vizinhança em X , de tal modo que para cada $x \in X$ é associado um subconjunto $N(x) \subseteq X$ designado vizinhança de x . Por convenção, nenhuma solução é vizinha de si mesma. Os vizinhos de x são todas as soluções que podem ser obtidas a partir de x por modificações elementares, que se chamam movimentos (Almada-Lobo, 2007). A evolução da solução atual define a trajetória em X .

Normalmente, a escolha de uma nova solução x_{n+1} na vizinhança de x_n recai sobre uma que melhore o valor da função objetivo. Considerando o problema de minimização da função objetivo, tem-se a solução $x_{n+1} \in N(x_n)$ com $F(x_{n+1}) \leq F(x)$, $\forall x \in N(x_n)$. Num algoritmo de pesquisa local pura, x_{n+1} torna-se solução atual na iteração seguinte caso não seja pior que a solução x_n ($F(x_{n+1}) \leq F(x)$). Caso contrário, o procedimento de pesquisa termina. Esta estratégia é designada por *descendente* (Hansen e Mladenović, 2001).

O processo de otimização termina num mínimo local, onde não é possível obter mais melhorias.

Um exemplo de um pseudocódigo do algoritmo genérico pode ser consultado na Figura 4.

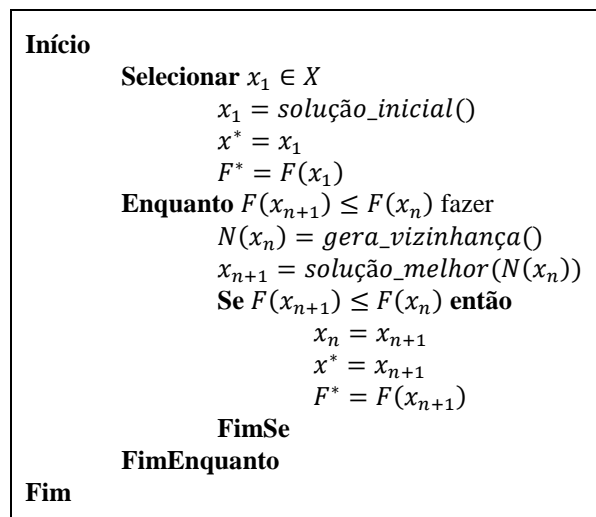


Figura 4 – Pseudocódigo do algoritmo genérico de pesquisa local (adaptado de Madureira, 1995)

A escolha de uma boa estrutura de vizinhança é fundamental para a eficiência do processo. A principal desvantagem deste algoritmo e das suas variantes é a incapacidade em escapar aos mínimos locais. Nesta situação, todas as soluções da vizinhança $N(x_n)$ são piores que x_n , apesar de noutra zona do espaço das soluções existir um mínimo global de F que não pode ser atingido por um processo de pesquisa baseado no conceito de vizinhança em consideração. Daí o surgimento das metaheurísticas (Madureira, 1995).

2.2.2. Metaheurísticas baseadas em Pesquisa Local

O termo *metaheurística* foi introduzido pela primeira vez por Fred Glover, em 1986 (Glover, 1986). As metaheurísticas consistem em processos de pesquisa recursiva ou iterativa que permitem a resolução de problemas de grande dimensão, guiando e modificando outras heurísticas para a produção de soluções além daquelas que são geradas numa pesquisa de otimização local, suficientemente próximas do ótimo global e em tempos de execução aceitáveis (Madureira, 1995; Talbi, 2009).

No desenvolvimento de uma metaheurística, Blum e Roli (2003) afirmam que dois critérios devem ser considerados:

- Diversificação: as regiões não exploradas devem ser visitadas para assegurar que as várias regiões do espaço de pesquisa são exploradas equilibradamente e que a pesquisa não está confinada apenas a um pequeno número de regiões;
- Intensificação: as regiões mais promissoras são exploradas minuciosamente com o objetivo de encontrar soluções melhores.

Madureira (1995) designa por trajetória no espaço das soluções a sequência de soluções de um problema percorrida pelo algoritmo, assumindo que todas elas estão relacionadas entre si, isto é, que o conjunto de soluções pode ser gerado a partir de cada uma das soluções do problema.

O mesmo autor destaca três metaheurísticas que se baseiam em pesquisa local:

- Pesquisa Local Aleatorizada (PLA): representa uma extensão da pesquisa local, na qual se executa n vezes o algoritmo da pesquisa local a partir de soluções geradas aleatoriamente. Desta forma, tenta-se obter soluções cada vez melhores, até atingir uma solução tão próxima quanto possível da solução ótima do problema;
- Arrefecimento Simulado (*Simulated Annealing*, SA): na iteração n , se a melhor solução x da vizinhança $N(x_n)$ for melhor do que a solução atual x_n substitui-se $x = x_n$. Se não, com uma probabilidade de aceitação de soluções piores $p(n)$, a solução é aceite tornando-se a nova solução atual ($x = x_n$). Caso contrário, a solução é rejeitada;
- Pesquisa Tabu (*Tabu Search*, TS): explora o conceito de memória, que influencia o procedimento de pesquisa orientando-o em função das soluções já visitadas. Para escapar de um mínimo local onde possa ter caído, na iteração n , a melhor solução possível x na vizinhança ou subvizinhança de x_n é aceite (a solução x poderá ser pior que a solução atual x_n), desde que o par (x_n, x) de soluções não tenha sido recentemente visitado, impedindo desta forma o movimento para soluções já encontradas.

A sua forte componente aleatória obriga a cuidados adicionais para efeitos de análise de desempenho.

2.3. Filosofia *Lean*

Apesar do termo *Lean* ter sido aplicado aos sistemas produtivos em finais da década de 80 num artigo de John Krafcik (*Triumph of the Lean Production System*), o conceito teve início no Japão e foi sendo desenvolvido e colocado em prática no período compreendido entre 1948 e 1975 por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, respetivamente Presidente e Engenheiro da empresa automóvel Toyota Motor Company (Shingo, 1989). O interesse pelo conceito foi motivado pela transformação da até então pequena empresa para líder do setor. Grande parte da indústria transformadora e de produção em massa pretendia replicar e adaptar as suas metodologias.

Considerada uma forma sólida de pensamento e gestão total, o *Lean* está focado na redução de 7 grandes tipos de desperdícios: super-produção, tempos de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimento e defeitos. A eliminação destes desperdícios traduz-se numa melhoria da qualidade e do valor do produto atribuído pelo consumidor, bem como na diminuição dos tempos e custos de produção (Ohno, 1997).

Pinto (2008) inclui os seguintes conceitos como princípios e ferramentas *Lean*:

- Qualidade total imediata: procura pela perfeição ("zero defeitos"), com base na deteção e solução dos problemas na sua origem. Por exemplo, os dispositivos *poka-yoke* destinam-se a evitar a ocorrência de erros em processos de fabrico e na utilização de produtos;
- Minimização do desperdício: eliminação das atividades que não criam valor agregado nem redes de segurança, bem como a otimização da utilização dos recursos que já existam (capital, pessoas e espaço);
- Melhoria contínua (*kaizen*): a redução de custos de desenho, produção, venda e serviço, a melhoria da qualidade dos produtos intermédios e acabados, o aumento da produtividade e a troca de informação no tempo certo e a qualquer momento devem ser ambicionadas para que o cliente fique satisfeito e continue a apoiar o negócio. As principais atividades dos processos contínuos de análise consistem na metodologia 5S – ordenar (*seiri*), organizar (*seiton*), limpar (*seiso*), estandardizar (*seiketsu*) e manter (*shitsuke*) –, na normalização e na eliminação de muda (desperdício);
- Autonomia (*jidoka*): tipo de automação que implementa algumas funções supervisoras antes das funções de produção;
- Nivelamento de produção (*heijunka*): consiste na tentativa de minimizar as variações das quantidades produzidas. Isto é obtido pelo sequenciamento dos pedidos;
- Processos *pull* no sentido de *kanban*: a produção é puxada ao longo da cadeia de valor em vez de ser empurrada, o que assegura que apenas se produz o que é necessário, quando é necessário e da forma mais adequada, ou seja, os produtos são retirados pelo cliente final. A utilização de metodologias de movimentação de materiais e produção potenciadas por sinais visuais (*kanban*) melhora o controlo do sistema e assegura o movimento pontual de produtos e informações (Munro, Ramu, and Zrymiak, 2008);
- Mapeamento dos processos: o estado atual do processo deve ser desenhado para identificar os processos críticos e oportunidades de melhoria. Os modelos mais comuns são o *Value Stream Mapping* (VSM) e o Mapa de Processo Detalhado;
- Gestão visual: a exibição clara de informação relativa ao produto e às atividades executadas em locais apropriados deve ser garantida para que todos os agentes envolvidos executem ou distribuam a informação da melhor forma possível. Um exemplo é o sistema Andon que indica o estado da produção em qualquer instante através de *feedback* visual de cores;
- Flexibilidade: produção rápida e eficiente de diferentes lotes de grande variedade de produtos, independentemente dos volumes de produção serem menores;
- Relação forte com os fornecedores: o risco, os custos e a informação entre as organizações deve ser compartilhado para criar elos de ligação que se estendam a longo prazo.

As metodologias *Lean* baseiam-se na otimização do fluxo de produção através do aumento da eficiência e da produtividade dos trabalhos, sendo em grande parte influenciada pela automação de processos e pelo ajuste *just in time* (na hora certa) das necessidades de produção. Todos os colaboradores de uma organização, desde a base ao topo de uma cadeia hierárquica, devem ser envolvidos e motivados com a finalidade de otimizar os recursos, a comunicação e o trabalho em equipa. Qualquer movimentação de recursos que não crie valor na cadeia de produção é

considerada desperdício e deve ser considerada a sua minimização ou mesmo eliminação (Giannini, 2007).

Resumidamente, a filosofia assenta nos conceitos de valor e desperdício, e o processo desejado é o de criar valor sem desperdício.

Estes princípios estão esquematizados na Figura 5.

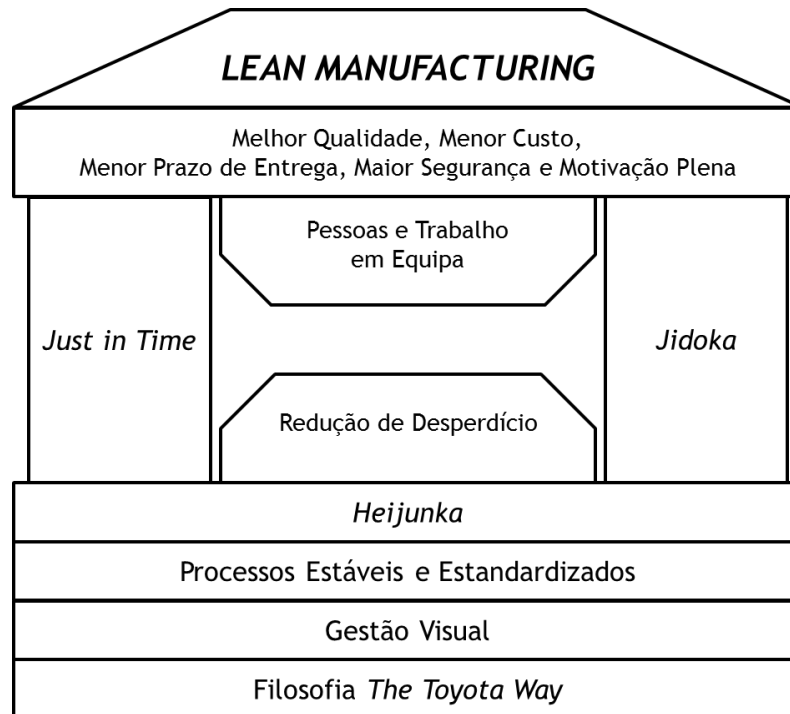


Figura 5 – Diagrama-casa do Sistema de Produção Toyota (adaptado de Larman e Vodde, 2009)

3. Estruturação do Problema

Ao longo deste capítulo serão identificados os macroprocessos de receção e armazenagem, e de preparação de pedidos, de forma a compreender como os diferentes agentes se interligam e funcionam.

De seguida, é feita uma abordagem à forma como a produtividade é calculada no Armazém Automático e, através da análise do desdobramento da sua fórmula, detetar os problemas existentes e obter oportunidades de melhoria.

3.1. Mapeamento dos Macroprocessos

Atualmente, o processo de transferência de dados dos produtos acabados da fábrica para o armazém de distribuição utiliza 3 camadas de *software* com interfaces entre plataformas distintas:

- ASW: *Enterprise Resource Planning* (ERP) utilizado na Empresa, que permite a gestão administrativa e financeira, a gestão comercial e de distribuição, e a gestão de produção;
- Warehouse Boss/WBoss: Sistema de Gestão de Armazém, que automatiza a receção, a localização com confirmação, o planeamento de *picking* e a sua respetiva confirmação, o embalamento, o envio e a reposição;
- Sistema ULMA: sistema do Armazém Automático, que foi desenvolvido para criar um sistema de movimentação das paletes, robotização, *picking* e consolidação final.

Assim, é possível fazer um mapeamento dos macroprocessos da empresa relativos às operações de receção e armazenagem, bem como de preparação de pedidos, como se pode ver nas Figuras 6 e 7.

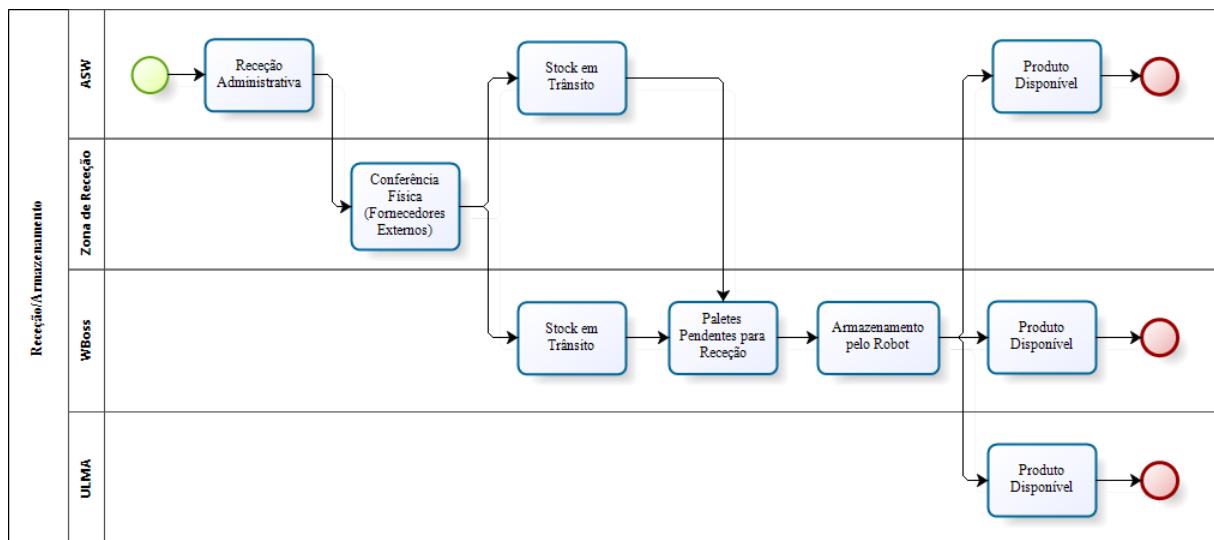


Figura 6 – Mapeamento dos Macroprocessos de Receção e Armazenagem

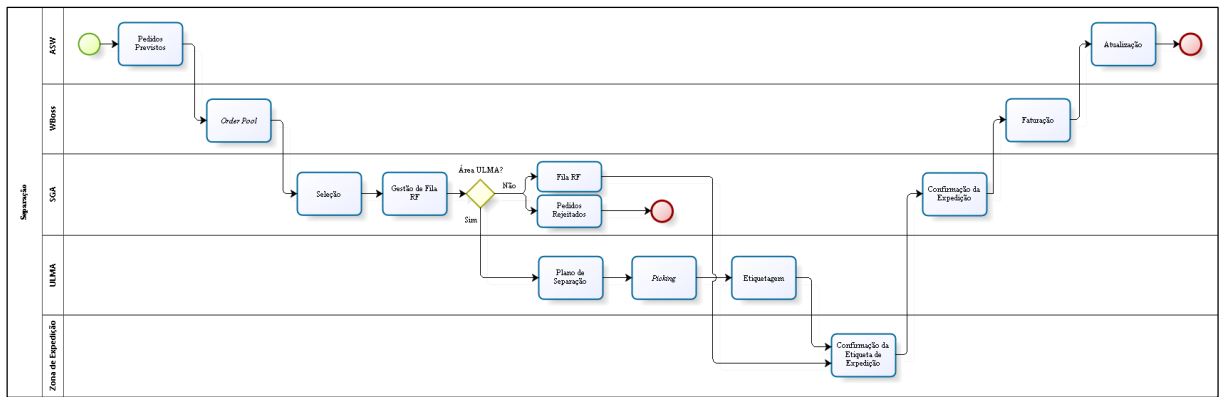


Figura 7 - Mapeamento dos Macroprocessos de Separação

3.2. Produtividade do Armazém Automático

A empresa calcula a produtividade do seu Armazém Automático utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Número de picks}}{\text{Horas de Trabalho (h)} \cdot \text{Homem}} \quad (3.1)$$

O termo *Pick* consiste na recolha num posto de separação de uma determinada quantidade de um produto que está presente numa linha de encomenda de um cliente.

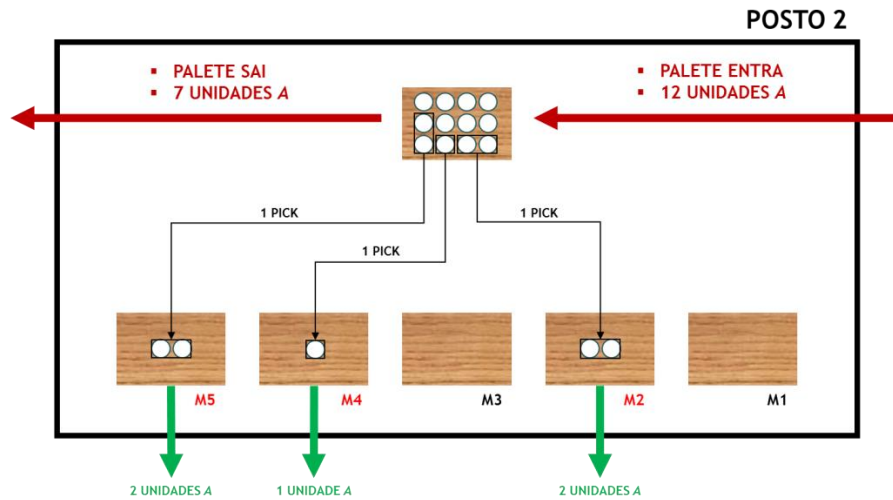
Considere-se também as seguintes definições:

- Tarefa: preparação de um produto num posto de separação;
- Volta: trajeto percorrido por uma paleta com um determinado produto desde que sai da sua localização no Armazém Automático até regressar a uma nova localização no mesmo, tendo entretanto visitado pelo menos um posto de separação.

Relembrando que a separação de pedidos ficou disposta em 4 postos de *picking* (3 no piso de baixo e 1 no 1.º andar), cada um com 5 mesas de depósito, conclui-se que:

- Cada tarefa pode satisfazer no máximo 5 linhas de encomenda (*picks*);
- Enquanto que, no piso de baixo, uma volta corresponde no máximo a 3 tarefas, no 1.º andar poderá haver apenas uma tarefa.

Estes conceitos estão representados na Figura 8, através de um exemplo ilustrativo.

Figura 8 – Conceitos de *pick*, tarefa e volta

Neste caso, uma paleta que continha 12 unidades do item A apenas visitou a unidade de *picking* do Posto 2 durante uma volta. Após a operação de separação ser realizada, a paleta ficou com 7 unidades e regressou ao armazém de paletes. Conclui-se, portanto, que foram realizados:

- 3 *picks* de um total de 5 unidades do item A (2 para a mesa M2, 1 para a mesa M4 e 2 para a mesa M5);
- 1 tarefa;
- 1 volta.

Assim, com a introdução dos dois novos conceitos, a equação (3.1) sofre alguns ajustamentos:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Número de } \textit{picks}}{\text{Número de tarefas}} \frac{\text{Número de tarefas}}{\text{Número de voltas}} \frac{\text{Número de voltas}}{\text{Horas de Trabalho (h)} \cdot \text{Homem}} \quad (3.2)$$

Em que:

$$\frac{\text{Número de } \textit{picks}}{\text{Número de tarefas}} \frac{\text{Número de tarefas}}{\text{Número de voltas}} = \text{Alocação e Sequenciamento} \quad (3.3)$$

e

$$\frac{\text{Número de voltas}}{\text{Horas de Trabalho (h)} \cdot \text{Homem}} = \text{Automatismo} \quad (3.4)$$

Com efeito, conclui-se que:

$$\text{Produtividade} = \text{Alocação e Sequenciamento} \cdot \text{Automatismo} \quad (3.5)$$

Utilizando esta metodologia para o cômputo da produtividade, a abordagem de análise assentará no apuramento de resultados das duas componentes isoladamente.

Na Tabela 2, podem ser consultados os valores médios mensais da Produtividade do Armazém Automático entre novembro de 2015 e maio de 2016 consoante o turno (diurno e noturno).

Tabela 2 – Valores médios mensais da produtividade no Armazém Automático entre novembro de 2015 e maio de 2016 consoante o turno (turno diurno – TD; turno noturno – TN)

Ano	Mês	Média de Horas (h)		Média de Picks (unidades)		Média da Produtividade $\left(\frac{Picks}{Hora \cdot Homem}\right)$	
		TD	TN	TD	TN	TD	TN
2015	11	32,78	32,60	1126,78	1208,40	35,01	37,36
	12	33,40	29,35	1001,50	1212,75	29,51	39,84
2016	1	30,95	31,90	902,90	1075,05	29,06	33,44
	2	36,65	35,00	1088,80	1353,00	29,57	38,73
	3	38,64	35,86	1192,50	1492,09	30,71	39,73
	4	37,90	37,93	1230,65	1475,10	32,72	39,35
	5	34,57	40,03	1184,40	1487,73	34,58	37,32

3.3. Alocação e Sequenciamento

O algoritmo do sistema ULMA define a alocação dos produtos no Armazém Automático e no posto e mesa de separação. Já a alocação dos pedidos é feita pelo Departamento de SGA.

3.3.1. Produtos

O campo Categoria de Localização do WBoss define vários parâmetros a serem utilizados pela ULMA na sua gestão interna, destacando-se o *Ranking* de Empilhabilidade e a Classificação ABC. Também será feita uma breve abordagem à forma como é feita a Reserva de Material.

Ranking de Empilhabilidade

O 2.º dígito da Categoria de Localização corresponde ao *Ranking* de Empilhabilidade e define a ordem de chegada das paletes de produtos às mesas de *picking*.

A todos os artigos é atribuído um grau de empilhabilidade de 0 a 9 em função do peso, como se pode verificar na Figura 21 do Anexo A.

No arranque da instalação, a empresa começou a trabalhar com 3 grupos de graus de empilhabilidade. No entanto, como a armazenagem dos artigos é feito segundo a classe A, B e C consoante o número de movimentos, esta opção provocava um défice de abastecimento aos postos de separação. Atualmente, utiliza-se 2 grupos:

- todos os artigos com empilhabilidade 1, 2 ou 3 foram convertidos para o grau 4;
- os artigos com empilhabilidade 0, 6, 7, 8 e 9 foram convertidos para o grau 5.

Classificação ABC

O 3.º dígito do campo serve para selecionar a localização de armazenagem de um produto numa zona segundo a Classificação ABC, que se encontra na Figura 22 do Anexo A, e em corredores diferentes no caso de existir mais de uma paleta por artigo e por lote. Resumidamente, na zona A serão colocados os produtos com grande rotação, na B aqueles com tiverem média rotação e na C os que forem de baixa rotação.

A localização específica de uma paleta com um determinado produto pode não ser a mesma antes e após entrar em trânsito e visitar algum posto de separação, visto o algoritmo atribuir dinamicamente essas posições dentro da zona correspondente.

Reserva de Material

A reserva de material realiza-se segundo o critério *First Expired, First Out* (FEFO), no qual o produto que sai em primeiro lugar é aquele que estiver mais próximo do fim do seu prazo de validade. A sua ordem é a seguinte:

- 1) Reserva das paletes completas do armazém de paletes, equilibrando o número de movimentos de saída entre todos os corredores. Isto gera movimentos de saída completa. Considera-se paleta completa aquela que tenha uma quantidade superior a uma percentagem da quantidade teórica da paleta cheia. Esta percentagem constitui um parâmetro modificável. A partir daqui, produzem-se movimentos de *picking*;
- 2) Reserva das caixas no armazém de paletes e, dentro deste, têm prioridade as paletes incompletas sobre as paletes completas;
- 3) Reserva das unidades no armazém de paletes, sempre que não haja que romper caixas e, dentro deste, têm prioridade as paletes incompletas sobre as paletes completas;
- 4) Reserva das unidades no armazém de contentores;
- 5) Reserva das unidades no armazém de paletes, tendo que romper caixas e, dentro deste, têm prioridade as paletes incompletas sobre as paletes completas;
- 6) Sempre que se cumpram as condições, reparte-se os movimentos entre os corredores.

Se houver alguma paleta dentro de um agrupamento em que seja necessário efetuar um *picking* considerável, efetua-se um movimento de quase saída completa, ou seja, *picking* inverso. Neste caso, a paleta dirige-se diretamente até à mesa de depósito de *picking*. Simultaneamente, liberta-se uma paleta que se dirigirá até à unidade de *picking* seguindo a rota do coletor. O material restante deve ser depositado na paleta vazia e, uma vez validado o movimento, esta dirige-se até ao armazém. As demais paletes seguem a rota normal.

3.3.2. Pedidos

Restrições

A alocação dos pedidos no posto e na mesa de separação é feita pelo Departamento de SGA, tendo em consideração as restrições listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Restrições na alocação e sequenciamento de pedidos nos postos e mesas de separação

Tipo	Restrição
Posto 3 (pedidos de caráter mais urgente)	1) Grupagem Norte+Centro+Sul (Clientes e Lojas)
	2) MVB gravado hoje para hoje (Rota 'Maia Vem Buscar')
Gravado para ser separado em 48 horas	3) Sul (Clientes e Lojas): deve estar pronto até às 12 horas para ser expedido
	4) Centro (Clientes e Lojas): deve estar pronto até às 16 horas para ser expedido
	5) Espanha (Clientes e Lojas): deve estar pronto até às 18 horas para ser expedido
	6) Norte (Clientes e Lojas): deve estar pronto até às 20 horas para ser expedido
Gravado para ser separado em 24 horas	7) Grande Lisboa (GL): deve estar pronto até às 0 horas para ser expedido
	8) Grande Porto (GP): deve estar pronto até às 2 horas para ser expedido
Exportação	9) Açores
	10) Madeira
	11) Empresa da CIN em Espanha
	12) Empresa da CIN em França

Existem mais algumas decisões tomadas pelo Departamento de SGA, não alocando no mesmo posto determinados pedidos que possam causar erros na separação por parte dos operadores. No entanto, estas não se encontram especificadas.

Algoritmo de Alocação

A gestão de prioridades identifica não só a ordem de separação como também a unidade de *picking* onde esse processo vai ter lugar. A cada posto é atribuído um intervalo de prioridades da seguinte forma:

- Posto 2 e Posto 4 – 101-599: destinam-se a pedidos normais e o Departamento de SGA tenta equilibrar o nível de serviço dos dois postos;
- Posto 3 – 1-19: usado para pedidos do tipo MVB, ou seja, urgentes. Também pode receber um limite de 20 *picks* vindos de outros postos;
- Posto 7 – 21-99: utilizado essencialmente para pedidos normais que requeiram muitos *picks*.

A Figura 9 descreve o algoritmo simplificado de alocação através de um fluxograma.

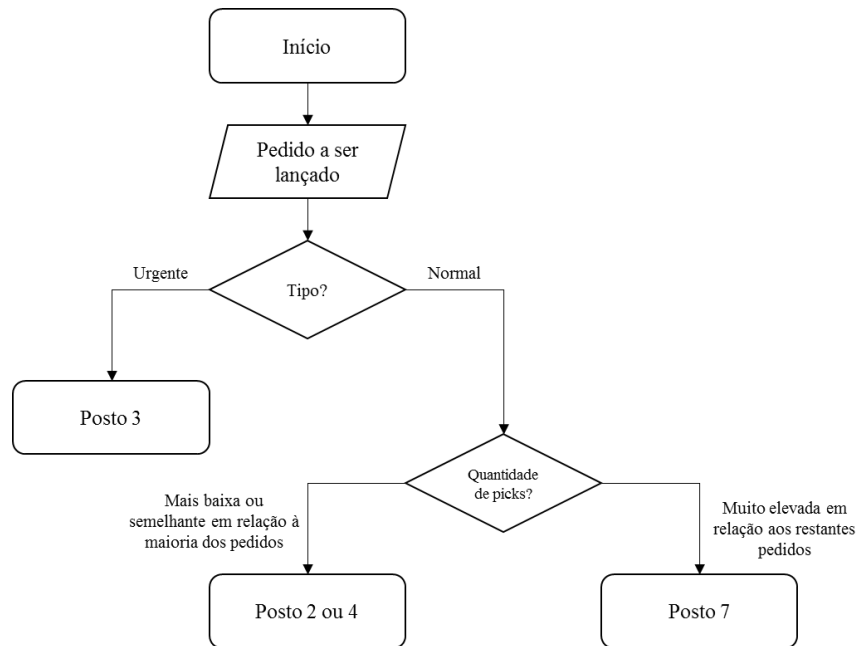


Figura 9 – Fluxograma do algoritmo de alocação de pedidos aos postos de separação

Algoritmo de Sequenciamento

O lançamento de pedidos não segue um conjunto de regras fixo. Sempre que haja uma mesa livre, o Departamento de SGA faz uma análise dos pedidos tendo em conta essencialmente duas componentes:

- Hora e data de expedição segundo o Plano de Distribuição;
- Quantidade de *picks*.

Se o número de *picks* entre os pedidos em espera for semelhante, o primeiro a ser lançado será aquele que tem de estar pronto mais cedo. Se os pedidos em espera têm de estar prontos à mesma hora, será lançado em primeiro lugar aquele que exigir um maior número de *picks*.

A Figura 10 apresenta um fluxograma do algoritmo de sequenciamento atualmente utilizado pelo Departamento de SGA.

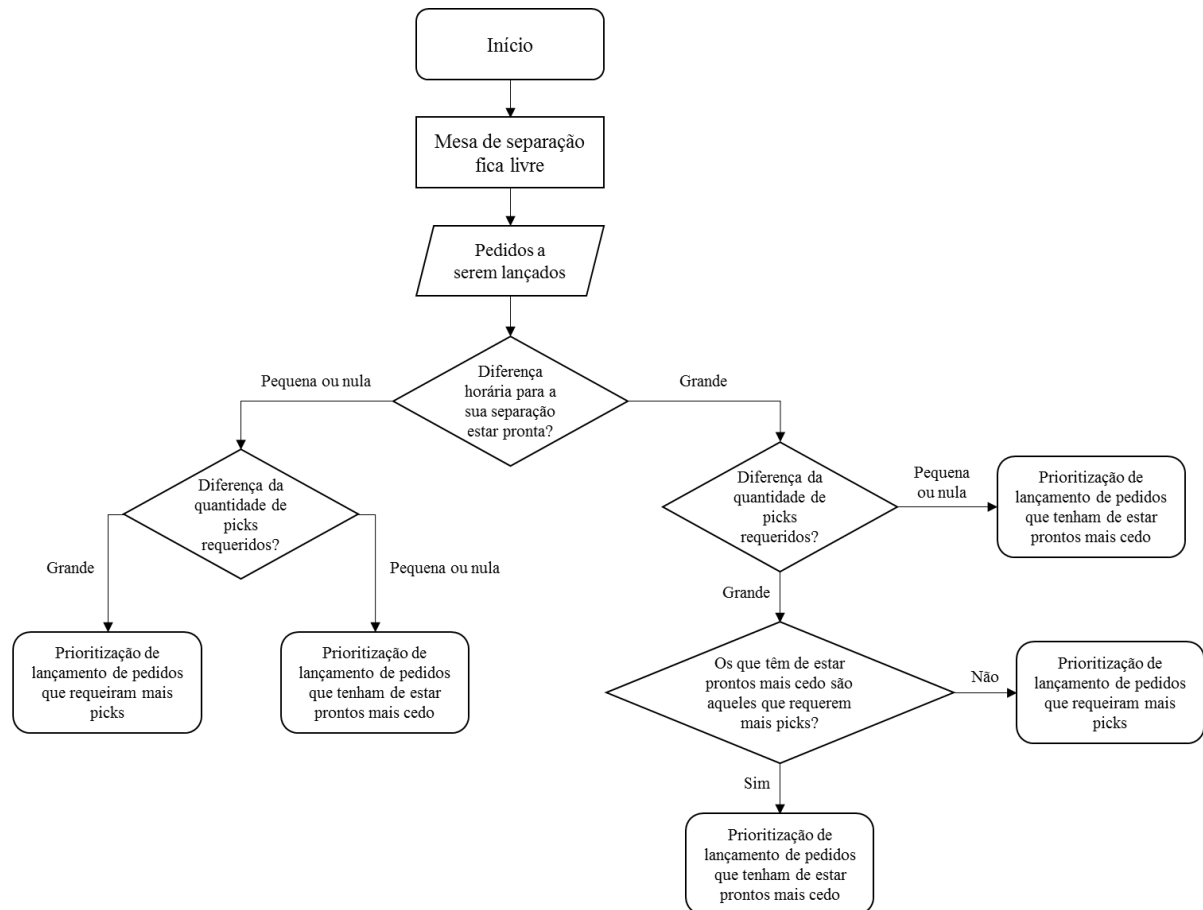


Figura 10 – Fluxograma do algoritmo de sequenciamento de pedidos nas mesas de separação

Recolha e Análise de Dados

De forma a tentar encontrar possíveis problemas nesta componente, foram recolhidos dados com as movimentações das paletes no Armazém Automático. O ficheiro gerado designa-se por *SACO* e apresenta essas informações dos 15 dias anteriores à criação do mesmo. O objetivo era calcular o número de *picks* por tarefa e de tarefas por volta.

Os dados apresentados nos *SACO's* contêm várias informações, mas não existe nenhum campo que relacione movimentos de uma certa paleta na mesma volta. Por exemplo, imagine-se uma certa paleta alocada para 2 postos que apresenta a mesma matrícula gerada no *picking*. No entanto, não há nenhum campo que prove que a paleta visitou os 2 postos na mesma volta (poderá ter sido armazenada e saído de novo). Nestes casos, considerou-se que as paletes visitavam mais do que um posto sempre que a diferença de chegada aos postos fosse inferior a uma hora.

A análise incidiu em ficheiros de períodos dos meses de fevereiro e março.

Análise da Produtividade Atual

Através da amostra dos movimentos das paletes, conclui-se que a percentagem de um *pick* por tarefa é elevada, bem como a de uma tarefa por volta, como se verifica nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Contagem do número de *picks* efetuados por tarefa

Picks/Tarefa	Tarefas	Percentagem (%)
1	7903	91,92%
2	597	6,94%
3	85	0,99%
4	10	0,12%
5	3	0,03%
Total	8598	100,00%

Tabela 5 - Contagem do número de tarefas efetuadas por volta

Tarefas/Volta	Voltas	Percentagem (%)
1	7499	93,39%
2	494	6,15%
3	37	0,46%
Total	8030	100,00%

A partir das amostras obtidas entre 8 e 17 de fevereiro, que se podem visualizar na Tabela 6, verifica-se que a maioria dos produtos só serve um pedido, pelo que não é possível fazer combinações com esses pedidos. Ainda assim, existem muitos pedidos que podem ser agrupados e com um grande potencial de aproveitamento.

Tabela 6 – Contagem de produtos pelos pedidos que servem por dia (somatório das amostras diárias obtidas entre 8 e 17 de fevereiro)

Pedidos que podem ser servidos	Contagem	Percentagem
1	3015	61,02%
2	954	19,31%
3	444	8,99%
4	226	4,57%
5	115	2,33%
6	83	1,68%
7	39	0,79%
8	28	0,57%
9	19	0,38%
10	6	0,12%
Mais de 10	12	0,24%
Total	4941	100,00%

Também foi feita uma análise aos movimentos das paletes que fazem pelo menos uma visita a dois postos na mesma volta. Muitas vezes, o congestionamento do tapete faz com que as paletes percorram uma distância maior do que o esperado.

Por exemplo, considere-se uma palete que está alocada para o Posto 2 e o Posto 4 na mesma volta. A ordem natural seria visitar primeiro o Posto 2 e só depois o Posto 4. No entanto, caso existam 7 paletes em espera, o sistema está programado para que a palete aguarde alguns segundos até se registar alguma evolução na situação. Ultrapassado esse tempo, a palete segue o seu movimento até ao Posto 4 para não atrasar as restantes paletes que a sucedem. No período analisado, esta situação foi recorrente, como se pode concluir na Tabela 7.

Tabela 7 – Contagem do número de movimentos das paletes que fazem pelo menos uma visita a dois postos na mesma volta

Postos aos quais a palete foi alocada	Sequência do movimento	Contagem	Percentagem (%)
2 e 4	4→2→4	4	1,18%
	2→4→2	3	0,88%
	4→2	167	49,41%
	2→4	165	48,53%
Total		339	100,00%
2 e 3	3→2→3	2	1,98%
	2→3→2	0	0,00%
	3→2	65	64,36%
	2→3	34	33,66%
Total		101	100,00%
3 e 4	4→3→4	0	0,00%
	3→4→3	1	1,54%
	4→3	16	24,62%
	3→4	48	73,85%
Total		65	100,00%
2, 3 e 4	4→3→2	1	3,70%
	4→2→3	7	25,93%
	3→4→2	15	55,56%
	3→2→4	0	0,00%
	2→4→3	0	0,00%
	2→3→4	4	14,81%
Total		27	100,00%

Principais Problemas Identificados

Uma das possíveis causas dos problemas mencionados é que a alocação e o sequenciamento no posto e na mesa de separação são feitos manualmente pelo Departamento de SGA sem que o conteúdo dos pedidos seja analisado.

Como é necessário separar muitos pedidos por dia, e a maioria contém um vasto número de produtos, o Departamento de SGA não pode comprometer a realização das restantes tarefas que tem a seu cargo para analisar o perfil de cada pedido. Atualmente, não existe nenhuma ferramenta que auxilie o Departamento de SGA a combinar pedidos no mesmo posto a fim de reduzir o número de movimentos das paletes e a probabilidade de congestionamento do tapete, tendo em conta as restrições já mencionadas.

Finalmente, o trabalho diário do Departamento de SGA funciona em 2 turnos e cada um tem uma forma diferente de trabalhar.

3.4. Automatismo

O automatismo consiste no número de voltas realizadas pela palete de uma forma cíclica. Assim, a cada volta estão associados tempos produtivos e não produtivos. As principais etapas que ocorrem durante a volta de uma palete estão esquematizadas na Figura 11 e são:

- 1) *Robot* efetua a entrega da palete;
- 2) Pallet desloca-se da posição de saída até ao tapete;
- 3) Pallet percorre o tapete até ao posto;
- 4) Operação de *picking* (com possível espera);
- 5) Pallet percorre o tapete até à posição de recolha;
- 6) *Robot* efetua a recolha da palete.

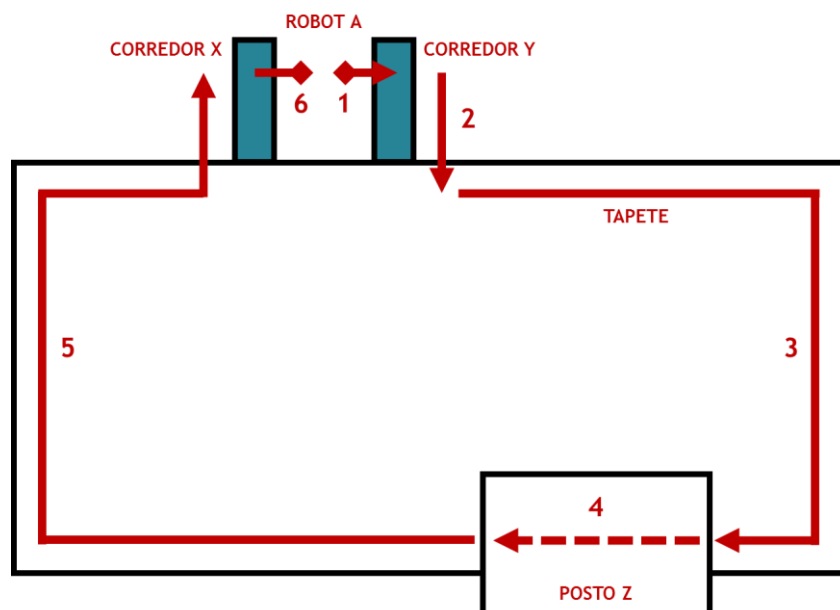


Figura 11 – Principais etapas que ocorrem durante a volta de uma palete

Tempos Produtivos

O tempo produtivo dos operadores da separação pode ser dividido em 4 principais funções:

- Verificação do código e separação do produto: inicia quando o código do produto e a respetiva quantidade a separar aparecem no monitor e termina assim que o operador confirmar a separação no *display* da mesa respetiva;
- Verificação da etiqueta e contagem: começa quando a etiqueta é impressa e os valores nela inscritos confirmados e acaba com o fim da contagem dos produtos;

- Fecho de palete com o auxílio de fita: consiste na colocação de fita em torno da paleta a fechar, terminando quando o VTD recolhe a paleta no posto;
- Retirada de fita da paleta: o operador não pode retirar material devido à existência de uma fita em torno da paleta na posição de *picking*, pelo que esta é removida e colocada no caixote do lixo.

Como as duas últimas tarefas são realizadas por uma questão de segurança, a sua análise foi desprezada.

Tempos Não Produtivos

Os operadores podem não estar a separar por diversos motivos, a maioria dos quais provocados por situações que não estão sob o seu controlo. Assim, justifica-se o esforço de engenharia e de organização no sentido da redução ou eliminação dos tempos não produtivos, que podem ter uma vasta lista de causas:

- Deslocação do produto em espera para a mesa de *picking*: a paleta encontra-se em trânsito no tapete e só termina quando fica imóvel no posto de separação;
- *Buffer* pré-*picking* vazio: a posição de pré-*picking* encontra-se vazia na medida em que o tapete se encontra parado porque o *buffer* de posto está cheio ou existe algum incidente;
- Falta de operador: a paleta encontra-se imóvel no posto de separação sem haver um operador que possa realizar a separação até que algum chegue. Isto pode acontecer caso o operador que estava no posto se tenha deslocado a outro posto que tenha acumulado um maior número de paletes em espera, ao *Miniload*, aos *robots* para resolver os seus erros ou à zona de consolidações;
- Espera pelo VTD: o operador espera que o VTD recolha ou reponha a paleta de forma a prosseguir com a separação;
- Organização da paleta: necessidade de organizar os produtos na paleta para haver uma disposição equilibrada, compacta e segura;
- Falta de paletes vazias no lote: o operador verifica que não existe nenhuma paleta vazia no lote e deve tomar ações para a reposição se efetuar;
- Falta de material: a continuação da separação depende da existência de materiais como sacos de plástico, fita-cola, cartões, etc., que não estão disponíveis;
- Falha de equipamento: por algum motivo o equipamento parou de funcionar, pelo que é preciso que volte a ficar operacional;
- Limpeza das embalagens: algumas embalagens são propícias a acumular pó que o operador limpa com auxílio de escovas;
- Ocupação do tapete de saída: o tapete de saída encontra-se parado até ao descongestionamento ser realizado;
- Informação incorreta do produto: o operador verifica que o produto que chegou ao posto de separação se encontra com dados incorretos, assinala o que se sucedeu e faz a paleta regressar ao local de origem;
- *Reset* do sistema: quando for necessário efetuar um *reset* ao sistema, por falta de energia ou outro qualquer eventual problema, há uma série de tarefas a executar, nomeadamente identificar e localizar todas as paletes que estivessem em movimento no momento anterior à falha;
- Paragem injustificada: por algum outro motivo não descrito acima, a separação não está a ser efetuada.

Recolha e Análise de Dados

Como as características do Posto 2 e 4 diferem das do Posto 3 e 7, decidiu-se que a sua análise deveria ser feita separadamente. Através da medição de tempo, o objetivo era hierarquizar os tempos não produtivos por cada posto. A recolha de dados aconteceu em períodos do turno diurno durante 18 dias entre 18 de março e 15 de abril.

Análise da Produtividade Atual

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 17 do Anexo B.

Relativamente aos tempos produtivos (operações), verifica-se que os operadores dedicam grande parte do seu horário de trabalho a executar a sua principal função: separar os produtos.

Quanto aos tempos não produtivos (paragens), a deslocação dos produtos em espera para a mesa de *picking* apresenta globalmente o maior impacto. Numa situação de fluxo contínuo com a criação de filas de paletes prontas a ser separadas, a deslocação demoraria cerca de 10 segundos. No entanto, em média dura aproximadamente 50 segundos.

Analisando cada posto, para os 2, 4 e 7 destaca-se a organização da paleta. No Posto 3, a falta de operador é um dos principais problemas encontrados, mais concretamente relacionado com a correção dos erros dos *robots*.

As paragens causadas pela deslocação do operador a outros postos e ao Miniload também têm algum impacto, mas devem-se à limitação do número de operadores na zona de separação e que têm de desempenhar várias tarefas.

Outros problemas também foram identificados a montante, mas com influência nas atividades do Armazém Automático, como a disposição dos produtos nas paletes na receção e as roturas de produtos.

Principais Problemas Identificados e Sugestões de Melhoria

Verificação do Código do Produto

A verificação do código do produto ocupa cerca de 20% do tempo utilizado no processo de *picking*, como se verifica na Tabela 18 do Anexo B. Esta demora deve-se essencialmente às deslocações necessárias dos operadores e da sua dificuldade em ler o código no monitor ou no produto, representando um desperdício relativamente ao tempo de *picking* propriamente dito.

A colocação de um ecrã com maior dimensão à frente da mesa de *picking* facilitaria a leitura do código. Também deveriam ser identificados os produtos cujos códigos são mais difíceis de ler.

Organização da Paleta na Separação

Quando o número de *picks* de um pedido é grande e as embalagens dos produtos são muito diferentes, os operadores demoram mais tempo a organizar a paleta para que esta fique o mais compacta possível.

Apenas um dos operadores verifica com frequência este tipo de pedidos grandes no WBoss antes de começar a separação para prever como poderá dispor os produtos. Contudo, mesmo assim a tarefa é muitas vezes complicada.

Caso a organização da paleta não comece a ser feita da forma mais correta, os operadores vão demorar mais tempo a corrigir e a reorganizá-la. Para o Posto 2, 4 e 7, mais de 10% do tempo de serviço é utilizado na organização de paletes e, nesta análise, não foi contabilizado o tempo gasto na organização enquanto há separação.

A ordem de chegada das paletes aos postos de separação nem sempre facilita o trabalho dos operadores. Este parâmetro é definido pelo *Ranking* de Empilhabilidade, que apenas tem em conta a nível de rotação dos produtos.

Assim, a dimensão e o material de que são feitas as embalagens não são consideradas. No primeiro caso, o trabalho seria simplificado se as embalagens maiores chegassem primeiro. No segundo, deveriam ser separadas inicialmente as embalagens de metal, seguidas das de plástico e só depois viriam as de cartão. A não introdução destes parâmetros é uma opção que foi tomada porque o tempo associado à recolha das paletes nas zonas A, B e C compensa o tempo gasto na organização das mesmas durante e depois da operação de *picking*.

A possibilidade de encaixe entre a base de uma embalagem e a tampa de outra é outra das características que deveria ser tida em conta. Algumas embalagens apresentam um formato tal que só colocando um cartão é que se torna seguro acrescentar um nível de produtos por cima. As restantes podem ser colocadas umas em cima das outras, ficando mais fixas. A uniformização de certos tipos de embalagens facilitaria o serviço dos operadores da separação.

Ocupação dos Robots na Receção e Separação e Erros Associados

Os *robots* podem armazenar ou retirar paletes do armazém. Assim, nos períodos do dia em que se dá a receção de paletes do exterior para armazenar, os tapetes ficam facilmente congestionados. Consequentemente, menos paletes saem das prateleiras para separar, havendo inclusivamente registos de situações em que os 3 postos do piso de baixo estavam vazios por causa dos motivos descritos.

A situação agrava-se quando 2 ou 3 camiões das 3 origens possíveis (Nováqua, Nave Central e Megadur) estão a descarregar paletes para entrar no Armazém Automático ao mesmo tempo. Numa pequena amostra de 7 dias, esta ocorrência sucedeu por 4 vezes, como se verifica na Tabela 19 do Anexo B.

Além de congestionar o tapete de entrada, alguns dos descarregamentos não ficam logo completos e os operadores dos empilhadores têm de esperar para colocar as restantes paletes no armazém.

Particularmente nestas alturas, a ocupação dos *robots* é muito elevada e eles começam a acumular bastantes erros.

Os operadores com formação para corrigi-los perdem imenso tempo a fazê-lo, que poderia ser utilizado para fazer mais *picks* já que regularmente se cria uma fila de paletes no posto onde estavam a trabalhar. Além disso, o seu desgaste físico e psicológico é maior bem como a quantidade de tarefas, o que lhes retira o foco da sua função principal.

As Tabelas 20, 21 e 22 do Anexo B apresentam os resultados compactados da frequência com que os operadores gastam tempo a corrigir os erros por tipo de máquina, local e tipo de erro.

A solução passa por implementar medidas no planeamento e evitar com que haja vários camiões a descarregar paletes ao mesmo tempo.

Os dados recolhidos também podem ser usados pela equipa de manutenção dos *robots*, de forma a que os maiores problemas sejam prontamente identificados e resolvidos.

Disposição dos Produtos nas Paletes na Recepção

Na armazenagem, por vezes cria-se um congestionamento porque há produtos que não estão devidamente acondicionados nas paletes vindas do exterior. Basta haver uma lata ligeiramente fora da paleta (ou até mesmo a sua pega) para que os sensores bloqueiem os *robots*.

Caso este tipo de paletes entre no tapete sem que os primeiros sensores reconheçam o incorreto posicionamento dos produtos e estes só sejam descobertos quando já estiverem no primeiro andar, apenas com a ajuda manual do operador é que o processo volta a fluir. Enquanto isso acontece, ele tem de parar o seu serviço no posto de separação (Posto 1).

Foram ainda identificadas situações em que este tipo de paletes chega a ser armazenado no Armazém Automático sem que os erros tenham sido detetados em qualquer ponto do seu trajeto no tapete de entrada.

Além disso, por vezes, as embalagens já se encontram danificadas. Quando estas paletes vão para os postos de separação, os operadores gastam tempo a corrigir o posicionamento das embalagens e a filtrar os produtos danificados.

Uma proposta de solução preventiva seria o controlo da disposição dos produtos nas paletes na área de receção.

3.5. Considerações Finais

Sintetizando, a principal oportunidade de melhoria reside na alocação e no sequenciamento dos pedidos nos postos e nas mesas de separação. Caso se obtenha uma otimização de pedidos, o número de tarefas nos postos irá diminuir e, consequentemente, aumentar a produtividade.

Relativamente à parte do automatismo, a adoção de algumas propostas preventivas e corretivas de melhoria contínua poderão reduzir os tempos não produtivos nos postos e tornar o processo mais fluído.

4. Estruturação do Método de Resolução

Neste capítulo, é descrita a solução proposta para que o sequenciamento e a alocação dos pedidos aos postos de separação seja feita de uma forma mais estruturada do que atualmente com a finalidade de obter ganhos de produtividade, tendo em conta as considerações utilizadas e explicando as metaheurísticas implementadas.

Para testar a metodologia foi criada uma ferramenta informática de apoio à decisão codificada em linguagem Java. No Anexo C, é feita uma explicação sobre a sua estrutura geral, a leitura dos dados de entrada, a construção das soluções iniciais, a geração de soluções vizinhas, as heurísticas de pesquisa local usadas e a avaliação das soluções admissíveis.

4.1. Considerações Iniciais

O problema descrito enquadra-se nos problemas de otimização combinatória, nomeadamente de escalonamento (*scheduling*) e alocação (*order assignment*). A sua aplicabilidade abrange vários contextos dentro do planeamento de produção, nomeadamente em armazéns (Chen e Pundoor, 2006).

A maior dificuldade encontra-se na representação do problema, na medida em que tem especificidades muito particulares e bastantes pormenores decorrentes do funcionamento atual do Centro de Distribuição, onde se destaca a existência de inúmeros parâmetros e o dinamismo podendo haver soluções variáveis no tempo.

A revisão da literatura não apresenta abordagens para problemas semelhantes e no mesmo contexto do proposto, pelo que o desafio consistiu em utilizar e adaptar da melhor forma possível esses conceitos e metodologias.

O objetivo deste problema é encontrar os pedidos que, satisfazendo as restrições consideradas, quando agrupados minimizem o número de tarefas necessário para a sua preparação.

O modelo desenvolvido teve em consideração alguns pressupostos:

- 1) Como o sequenciamento da chegada das paletes aos postos é feito pelo algoritmo da ULMA, não é possível prever qual dos pedidos em atividade termina primeiro a sua separação. Assim, foi considerado um sequenciamento de grupos de 5 pedidos combinados. Ou seja, um grupo com 5 pedidos é alocado a um posto, e só quando a separação do último destes pedidos é finalizada é que se volta a alocar mais um grupo de 5 pedidos a esse posto;
- 2) Como não se sabe qual é a quantidade de produtos de uma paleta que chega a um posto tem, nem a quantidade com que fica após os *picks* serem feitos, não se pode ter em conta este fator;
- 3) Quando um determinado item está presente em pedidos que estão a ser separados, em diferentes mesas e/ou diferentes postos, considera-se que a mesma paleta desse item serve esses pedidos na mesma volta;
- 4) Assim, a metodologia focou-se em otimizar a produtividade no posto (ou seja, por tarefa).

4.2. Metodologia Proposta

A metodologia proposta é composta por:

- 1) Algoritmo de Sequenciamento: estabelece uma ordem de prioridades de separação dos pedidos;
- 2) Algoritmo de Alocação: combina os pedidos de cada ordem de prioridade em grupos de 5 pedidos.

A Figura 12 resume o processo até obter a solução final.



Figura 12 – Processo Geral para obter a Solução Final

4.2.1. Algoritmo de Sequenciamento

A criação deste algoritmo visa criar grupos de pedidos consoante a sua ordem de prioridade de lançamento. Esta ordenação terá em consideração:

- 1) Diferença entre a hora atual e a hora em que a separação do pedido tem de estar pronta;
- 2) Tempo previsto para que a separação dos pedidos fique completa.

Em média, uma tarefa demora 50 segundos a ser completada, e a deslocação de uma paleta para a unidade de *picking* 58 segundos. Portanto, a cada tarefa está associado um tempo total de espera e operação de 108 segundos. Atribua-se uma margem de erro que coloque este tempo em 120 segundos (2 minutos).

A ordem das prioridades de lançamento de cada pedido resulta da diferença entre 1) e 2). Uma sugestão seria a organização dos pedidos em 5 classes de margem de tempo com intervalos de 30 minutos:

- Ordem de prioridade 1: $[0,30]$ minutos;
- Ordem de prioridade 2: $]30,60]$ minutos;
- Ordem de prioridade 3: $]60,90]$ minutos;
- Ordem de prioridade 4: $]90,120]$ minutos;
- Ordem de prioridade 5: $]120, +\infty[$ minutos.

A Figura 13 apresenta o fluxograma deste algoritmo.

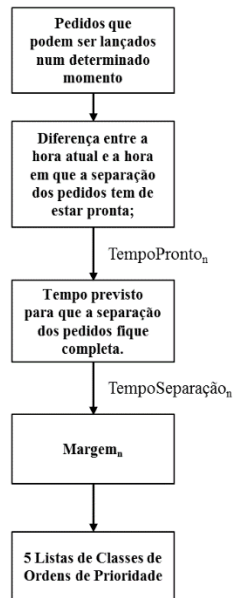


Figura 13 – Fluxograma do Algoritmo de Sequenciamento

Exemplo 4.1

Num determinado dia às 15 horas, existem 30 pedidos para lançar, identificados na Tabela 8.

Tabela 8 – Pedidos que podem ser lançados às 15 horas de um determinado dia

Pedido	Quantidade de picks	Hora para a separação estar pronta (h:min)	Pedido	Quantidade de picks	Hora para a separação estar pronta (h:min)	Pedido	Quantidade de picks	Hora para a separação estar pronta (h:min)
1	140	20:00	11	20	16:00	21	20	18:00
2	65	18:00	12	10	16:00	22	80	18:00
3	80	18:00	13	80	18:00	23	20	16:00
4	20	20:00	14	25	16:00	24	50	18:00
5	15	16:00	15	20	16:00	25	130	20:00
6	25	16:00	16	50	18:00	26	60	18:00
7	80	18:00	17	65	18:00	27	50	18:00
8	70	18:00	18	95	20:00	28	105	20:00
9	75	18:00	19	25	16:00	29	20	20:00
10	140	20:00	20	60	20:00	30	40	18:00

Conforme se verifica na Tabela 9, resulta que:

Tabela 9 – Geração da ordem de prioridade para cada pedido

Pedido	Quantidade de picks	Hora para a separação estar pronta (h:min)	Tempo previsto de separação (h:min)	Diferença entre a hora atual e a hora em que a separação tem de estar pronta (h:min)	Margem de Tempo (h:min)	Ordem de Prioridade
1	140	20:00	4:40	5:00	0:20	1
2	65	18:00	2:10	3:00	0:50	2
3	80	18:00	2:40	3:00	0:20	1
4	20	20:00	0:40	5:00	4:20	5
5	15	16:00	0:30	1:00	0:30	1
6	25	16:00	0:50	1:00	0:10	1
7	80	18:00	2:40	3:00	0:20	1
8	70	18:00	2:20	3:00	0:40	2
9	75	18:00	2:30	3:00	0:30	1
10	140	20:00	4:40	5:00	0:20	1
11	20	16:00	0:40	1:00	0:20	1
12	10	16:00	0:20	1:00	0:40	2
13	80	18:00	2:40	3:00	0:20	1
14	25	16:00	0:50	1:00	0:10	1
15	20	16:00	0:40	1:00	0:20	1
16	50	18:00	1:40	3:00	1:20	3
17	65	18:00	2:10	3:00	0:50	2
18	95	20:00	3:10	5:00	1:50	4
19	25	16:00	0:50	1:00	0:10	1
20	60	20:00	2:00	5:00	3:00	5
21	20	18:00	0:40	3:00	2:20	5
22	80	18:00	2:40	3:00	0:20	1
23	20	16:00	0:40	1:00	0:20	1
24	50	18:00	1:40	3:00	1:20	3
25	130	20:00	4:20	5:00	0:40	2
26	60	18:00	2:00	3:00	1:00	2
27	50	18:00	1:40	3:00	1:20	3
28	105	20:00	3:30	5:00	1:30	3
29	20	20:00	0:40	5:00	4:20	5
30	40	18:00	1:20	3:00	1:40	4

Na Tabela 10, os pedidos são organizados consoante a sua ordem de prioridade.

Tabela 10 – Organização dos pedidos em classes de prioridades

Ordem de Prioridade	Contagem de Pedidos	Pedidos
1	14	1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 19, 22, 23
2	6	2, 8, 12, 17, 25, 26
3	4	16, 24, 27, 28
4	2	18, 30
5	4	4, 20, 21, 29

4.2.2. Algoritmo de Alocação

A estratégia de pesquisa envolveu o uso de heurísticas e metaheurísticas, de forma a explorar eficientemente o espaço das soluções viáveis do problema.

Madureira (1995) defende a opção por estas técnicas para a resolução de problemas de minimização, na medida em que estabelecem um equilíbrio entre o tempo de processamento requerido e a qualidade da solução.

O balanço dinâmico entre os critérios de diversificação e intensificação (Blum e Roli, 2003) foi equacionado para escapar aos mínimos locais.

Assim, o algoritmo de alocação proposto apresenta duas componentes:

- 1) Formação de grupos de 5 pedidos: utilizando uma metaheurística de Pesquisa Local Aleatorizada, obtém-se grupos de 5 pedidos da mesma ordem de prioridade que, combinados no mesmo posto, sejam organizados de forma decrescente pelos seus valores de produtividade. O processo é repetido 1000 vezes e o conjunto de grupos cuja soma global de tarefas seja menor é selecionado;
- 2) Troca de pedidos entre grupos diferentes: a partir da melhor solução obtida em 1), cria-se uma nova vizinhança para tentar reduzir ainda mais o número de tarefas. O mecanismo gerador de vizinhanças baseia-se em trocas consecutivas de pedidos entre grupos diferentes, aplicando-se de seguida a heurística de Pesquisa Local Pura.

A primeira componente fará uma pesquisa em largura (diversificação) e a segunda em profundidade (intensificação).

Formação de grupos de 5 pedidos

A primeira componente visa criar grupos de 5 pedidos para que o número de tarefas global diminua. Ao juntar no mesmo posto e momento de separação os pedidos com mais produtos em comum, esse objetivo tenderá a ser alcançado. O desenvolvimento do algoritmo envolveu as seguintes etapas:

- 1) Através das *picklists* de uma determinada ordem de prioridade obtida através do algoritmo de sequenciamento, cria-se uma matriz que organize os tipos de produtos por pedidos diferentes afetados. Sejam M e N o número total de produtos e pedidos, respetivamente.

Índices

i – Produto: $i \in 1, \dots, M$
 j – Pedido: $j \in 1, \dots, N$

Parâmetros

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o produto } i \text{ está no pedido } j \\ 0, & \text{se o produto } i \text{ não está no pedido } j \end{cases} \quad (4.1)$$

$$b_{ij} = \text{quantidade de produto } i \text{ encomendada no pedido } j \quad (4.2)$$

Um exemplo de uma matriz encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Matriz de associação entre os pedidos que devem ser lançados num determinado dia e os tipos de produtos que as constituem

	Pedido 1	Pedido 2	...	Pedido j-1	Pedido j	Pedido j+1	...	Pedido N
Produto 1	1	0	...	0	0	0	...	0
Produto 2	0	0	...	1	0	1	...	1
...
Produto i-1	1	0	...	1	0	1	...	0
Produto i	0	1	...	0	0	0	...	1
Produto i+1	1	0	...	1	0	1	...	0
...
Produto M	0	1	...	1	0	0	...	0

Importa salientar que os produtos que estão incluídos apenas num pedido devem ser omitidos, já que são casos que resultam sempre em 1 *pick*/tarefa. Ao calcular os KPI's, o potencial de certos pedidos poderia não estar a ser aproveitado, nomeadamente os que têm mais produtos únicos. No final, o número de tarefas associado a esses produtos é repostos. Um exemplo pode ser consultado nas Tabelas 23, 24 e 25 do Anexo D.

- 2) Como o objetivo é promover a otimização no posto, escolhe-se aleatoriamente um grupo inicial de 5 pedidos e calcula-se o respetivo KPI de produtividade. Este KPI é calculado através da expressão:

$$KPI = \frac{\text{Número de Picks}}{\text{Número de Tarefas}} \quad (4.3)$$

O número de *picks* é obtido por:

$$\text{Número de Picks} = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^5 a_{ij} \quad (4.4)$$

Em que:

S, é o número de tipos de produtos que existem no conjunto de pedidos que devem ser lançados.

Sabendo que:

$$Tarefa_i = \begin{cases} 0, & \text{se o produto } i \text{ não é preparado no posto} \\ 1, & \text{se o produto } i \text{ é preparado no posto} \end{cases} \quad (4.5)$$

O número de tarefas resulta em:

$$\text{Número de Tarefas} = \sum_{i=1}^S \text{Tarefa}_i \quad (4.6)$$

Exemplo 4.2

Considere-se o exemplo da Tabela 12.

Tabela 12 – Exemplo do cálculo do KPI combinado de um grupo inicial de 5 pedidos

	Pedido 1	Pedido 2	Pedido 3	Pedido 4	Pedido 5	Picks	Tarefas
Produto 1	1	0	1	0	0	2	1
Produto 2	0	0	0	0	0	0	0
Produto 3	0	1	0	0	1	2	1
Produto 4	1	0	0	1	1	3	1
Produto 5	0	1	1	0	1	3	1

Total	10	4
KPI	$10/4 = 2,5 \text{ picks/tarefa}$	

O grupo inicial corresponderia ao conjunto de pedidos {Pedido 1, Pedido 2, Pedido 3, Pedido 4, Pedido 5}, cujo KPI combinado é 2,5 *picks/tarefa*.

- 3) A partir daqui, o objetivo é melhorar o KPI através de sucessivas e pequenas alterações baseadas na tentativa e erro de forma sistemática.

O mecanismo gerador de grupos vizinhos consiste em:

- Cada um dos pedidos que não entraram no grupo inicial (adiante designado por “pedido-candidato”) irá substituir cada pedido incluído nesse grupo. Isto é, cada pedido-candidato gera 5 novos grupos (adiante designados por “grupos-candidatos”);
- A ordem pela qual os pedidos-candidatos são testados também é aleatória.

Assim, o número de grupos vizinhos criados durante um ciclo resulta de:

$$\text{Número de Grupos Vizinhos} = (\text{Número de Pedidos} - 5) \times 5 \quad (4.7)$$

Dos 5 novos grupos-candidatos, aquele que apresente um KPI mais elevado do que o KPI do grupo inicial tornar-se-á no novo grupo. Se os grupos tiverem um KPI menor ou igual, serão descartados e o inicial mantido. O processo continua até todos os pedidos-candidatos serem testados. O grupo obtido será então designado por “Grupo 1” da solução admissível.

Exemplo 4.3

Partindo do exemplo 4.2, sejam os 3 primeiros pedidos-candidatos o Pedido 6, 7 e 8, por esta ordem de teste. O processo está ilustrado na Figura 14.

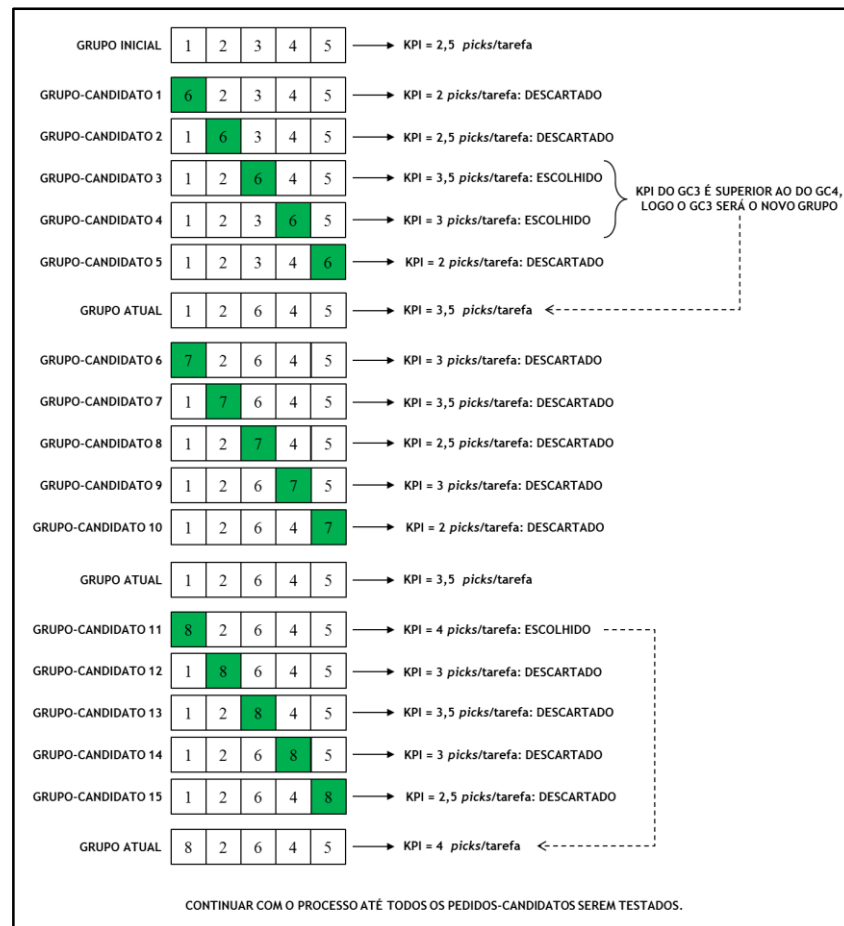


Figura 14 – Mecanismo gerador de grupos-candidatos (Exemplo 4.2)

Caso o grupo atual se mantivesse até todos os pedidos-candidatos serem testados, tornar-se-ia o “Grupo 1” da solução admissível.

- 4) Após o “Grupo 1” estar definido, segue-se a formação dos restantes grupos. Os pedidos correspondentes ao último grupo formado deixam de ser pedidos-candidatos e são ignorados para a criação dos grupos seguintes.

Os passos 2) e 3) repetem-se, ou seja, dos pedidos-candidatos que se mantêm, volta-se a gerar arbitrariamente um grupo inicial de 5 pedidos e testam-se os restantes pedidos-candidatos. No final, o grupo com maior KPI passa a ser designado por “Grupo 2”. O processo volta a repetir-se e por aí adiante até que não seja possível formar mais grupos. O conjunto de grupos final constituirá uma solução admissível do problema.

Por exemplo, se houver 92 pedidos, é possível formar 18 grupos com 5 pedidos e 1 grupo com 2 pedidos.

- 5) As etapas de 2) a 4) repetem-se 1000 vezes. As 1000 soluções geradas são gravadas e comparadas entre si. Aquela que minimizar o número de tarefas global é a solução escolhida no final da primeira componente.

Trocas de pedidos entre grupos diferentes

O objetivo desta componente consiste em tentar reduzir ainda mais o número de tarefas a partir da melhor solução obtida na componente 1). O seu algoritmo compreende os seguintes passos:

- 6) A partir da solução atual, cria-se uma nova vizinhança trocando sucessivamente pedidos entre grupos diferentes. Por ciclo, o número de trocas entre 2 grupos é igual à multiplicação do número de pedidos desses 2 grupos. O número total de trocas corresponde à soma das trocas geradas entre as $\text{Número de Grupos} \times C_2$ combinações de grupos.

A Figura 15 esquematiza o número de trocas efetuadas entre 2 grupos com 5 pedidos.

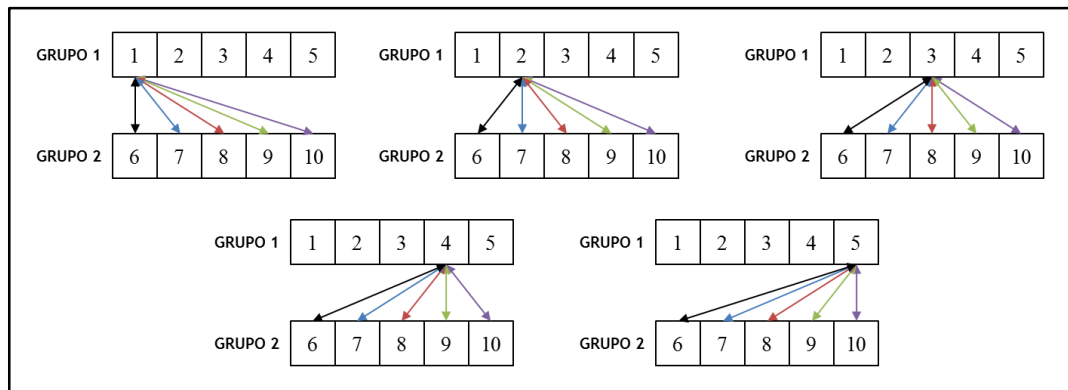


Figura 15 – Trocas efetuadas entre 2 grupos com 5 pedidos

Exemplo 4.4

Seja a melhor solução gerada na componente 1) constituída por 3 grupos, em que:

- Grupo 1: 5 pedidos;
- Grupo 2: 5 pedidos;
- Grupo 3: 2 pedidos.

O número de trocas total será igual a 45 por ciclo.

$$\begin{aligned} \text{Número de Trocas} &= \text{Trocas 1|2} + \text{Trocas 1|3} + \text{Trocas 2|3} \\ &= (5 \times 5) + (5 \times 2) + (5 \times 2) = 45 \text{ trocas} \end{aligned}$$

- 7) Se, ao efetuar uma troca, o número de tarefas global:
- reduzir: a troca é efetuada, a nova solução guardada e o processo continua;
 - não alterar ou aumentar: a troca não é efetuada.

Sempre que, ao final de um ciclo, se registrar pelo menos uma troca, origina-se um novo ciclo. Caso não haja melhoria quando um ciclo termina, o processo acaba e é apresentada a solução final.

Na Figura 16, pode ser consultado o fluxograma do algoritmo de alocação constituído pelas duas componentes.

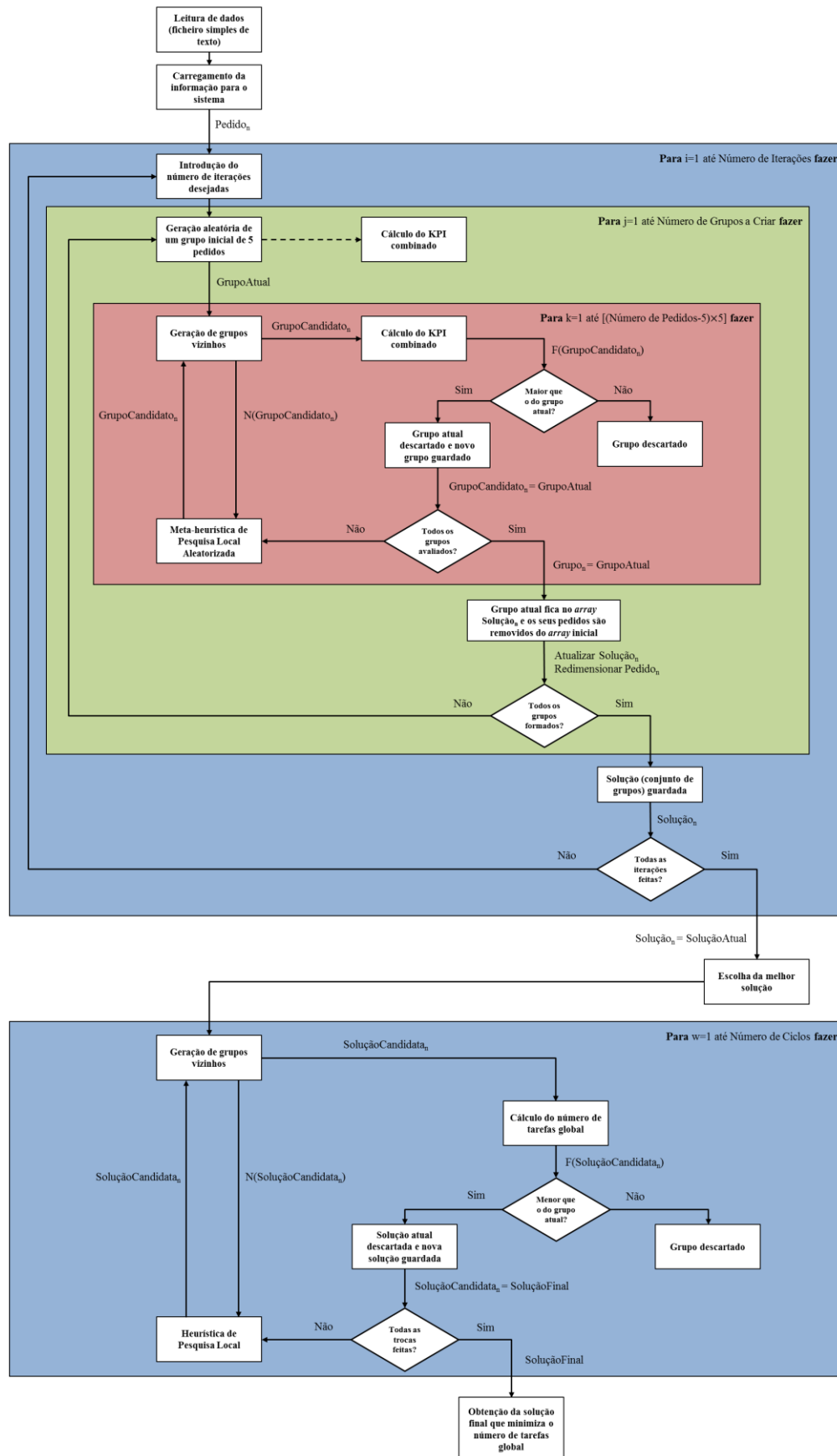


Figura 16 – Fluxograma do Algoritmo de Alocação

4.3. Síntese do Modelo

Índices

i – Produto: $i \in 1, \dots, M$

j – Pedido: $j \in 1, \dots, N$

g – Grupo: $g \in 1, \dots, Q$

Parâmetros

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o produto } i \text{ está no pedido } j \\ 0, & \text{se o produto } i \text{ não está no pedido } j \end{cases} \quad (4.8)$$

$$b_{ij} = \text{quantidade de produto } i \text{ encomendada no pedido } j \quad (4.9)$$

Variável

$$X_{jg} = \begin{cases} 1, & \text{se o pedido } j \text{ é preparado no grupo } g \\ 0, & \text{se o pedido } j \text{ não é preparado no grupo } g \end{cases} \quad (4.10)$$

Função Objetivo

$$\text{maximizar Produtividade} = \frac{\sum_i \sum_j b_{ij} \sum_g X_{jg}}{\sum_g T_g} \quad (4.11)$$

Em que,

T_g – Número de tarefas no grupo g

$$T_g = \sum_i \min(1, \sum_j X_{jg} \cdot a_{ij}) \quad (4.12)$$

Sujeito a:

$$\sum_g X_{jg} = 1 \quad (4.13)$$

Resulta que:

$$\sum_i \sum_j b_{ij} \sum_g X_{jg} = \text{constante} \quad (4.14)$$

Logo o objetivo é minimizar o denominador para maximizar a produtividade:

$$\text{minimizar } \sum_g T_g = \sum_g \sum_i [\min(1, \sum_j X_{jg} \cdot a_{ij})] \quad (4.15)$$

4.4. Considerações Finais

As listas que foram criadas para testar a aplicação só tiveram em consideração a restrição a que estavam associadas e não a ordem de prioridade que se obteria utilizando o algoritmo de

sequeciamento proposto. Através da análise dos dados disponíveis, a hora em que cada pedido foi lançado era desconhecida, logo esta foi a única forma de dividir os pedidos em grupos. Resumidamente, para cada dia analisado foram criadas 11 listas que agrupassem os pedidos pelas restrições do Plano de Distribuição, como se demonstra na Tabela 13.

Tabela 13 – Listas criadas para testar a ferramenta desenvolvida, considerando as restrições do Plano de Distribuição

Listas Criadas	
1)	Posto 3: Grupagem Norte+Centro+Sul (Clientes e Lojas) e MVB
2)	Separação em 48 horas: Sul (Clientes e Lojas)
3)	Separação em 48 horas: Centro (Clientes e Lojas)
4)	Separação em 48 horas: Espanha (Clientes e Lojas)
5)	Separação em 48 horas: Norte (Clientes e Lojas)
6)	Separação em 24 horas: Grande Lisboa (GL)
7)	Separação em 24 horas: Grande Porto (GP)
8)	Exportação: Açores
9)	Exportação: Madeira
10)	Exportação: Empresa da CIN em Espanha
11)	Exportação: Empresa da CIN em França

A solução final consiste em juntar os melhores conjuntos de grupos de cada restrição. A Figura 17 demonstra como estes podem ser agrupados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Restrição	Grupo	Pedidos				Picks	Tarefas	KPI	
1										
2	24 horas - GL	1	PSN01G1926436	PSN01G1926431	PSN01G1926000	PSN01G1926349	PSN01G1926022	65	56	1,161
3		2	PSN01G1926024	PSN01G1926023	PSN01G1926021	PSN01G1926004	PSN01G1926014	42	38	1,105
4	24 horas - GP	3	PSN01G1926166	PSN01G1925817	PSN01G1926168	PSN01G1926169	PSN01G1925835	98	88	1,114
5		4	PSN01G1926167	PSN01G1925997	PSN01G1925998	PSN01G1925846	PSN01G1926170	38	37	1,027
6	48 horas - Centro	5	PSN01G1926453	PSN01G1926437	PSN01G1926446	PSN01G1926457	PSN05G0274852	53	49	1,082
7		6	PSN05G0274861	PSN05G0274864	PSN01G1926647	PSN01G1926655		22	22	1
8	48 horas - Espanha	7	PSN01G1926180	PSN01G1926181	PSN01G1926185	PSN01G1926187		34	32	1,0625
9		8	PSN01G1925741	PSN01G1925819	PSN01G1925834	PSN01G1925822	PSN01G1925820	302	232	1,302
10	48 horas - Norte	9	PSN01G1926060	PSN01G1926052	PSN01G1926031	PSN01G1926047	PSN01G1926061	32	28	1,143
11		10	PSN01G1926059	PSN01G1925727	PSN01G1926032	PSN01G1925830	PSN01G1926053	99	91	1,088
12		11	PCN01G1926042	PSN01G1926039	PSN01G1926036	PSN01G1926042		18	18	1
13	48 horas - Sul	12	PSN01G1925843	PSN01G1926026	PSN01G1926029	PSN01G1925839	PSN01G1925838	400	319	1,254
14		13	PSN01G1925840	PCN01G1926029	PSN01G1926025			26	25	1,04
15	Exportação - Açores	14	PSN01G1926171	PSN01G1926172	PSN01G1926175	PSN01G1926176		32	31	1,032258
16	Exportação - Empresa da CIN em Espanha	15	PSN01G1926157	PSN01G1926163				33	33	1
17	Exportação - Empresa da CIN em França	16	PSN01G1926063	PSN01G1926064	PSN01G1926143	PSN01G1926147		26	26	1
18		17	PSN05G0274924	PSN05G0274912	PSN05G0274927	PSN05G0274875	PSN05G0274914	14	14	1
19	Exportação - Madeira	18	PSN05G0274921	PSN05G0274865	PSN05G0274867	PSN01G1926217	PSN05G0274972	22	22	1
20		19	PSN05G0274871	PSN01G1926188	PSN01G1926311			44	44	1
21	Posto 3	20	Posto 3					248	248	1
22								Total	1648	1453
23										1,134

Figura 17 – Solução final considerando todas as restrições (15/03/2016)

Na realidade, no mesmo posto e momento do dia podem estar a ser separados pedidos de restrições diferentes, pelo que os resultados que se obteriam poderiam ser ainda melhores. De qualquer das formas, esta divisão servirá de base à análise com a finalidade de demonstrar que é possível fazer melhores combinações e reduzir o número de tarefas.

5. Análise de Resultados

Este capítulo tem como objetivo fazer um conjunto de testes computacionais para avaliar os conceitos descritos na solução proposta e comparar a qualidade dos seus resultados com a metodologia atualmente utilizada pela empresa.

5.1. Considerações Iniciais

Neste tipo de testes, Barr *et al.* (1995) afirmam que é necessário definir cada um dos seguintes passos:

- Objetivos dos testes: validação da utilidade da metodologia desenvolvida suportada em algoritmos heurísticos e metaheurísticos para minimizar o número de tarefas, comparando os resultados obtidos com os atuais;
- Escolha dos indicadores de desempenho e fatores a explorar: a performance dos testes deve ser avaliada através dos indicadores *picks* por tarefa, tarefas por volta, *picks* por volta, tempo total de serviço nos 4 postos e *picks* por hora;
- Projeção e execução do teste: utilização da ferramenta informática desenvolvida para obter as melhores soluções;
- Análise dos dados e obtenção de conclusões: os dados obtidos foram retirados de uma amostra de 12 dias, nomeadamente 10, 11, 12, 15 e 16 de fevereiro, e 8, 9, 10, 11, 15, 16 e 17 de março de 2016. Através dos SACO's, cada dia foi individualizado. De forma a tornar mais fidedigna a comparação entre as metodologias, os pedidos que continuaram do dia anterior foram omitidos;
- Exposição dos resultados dos testes: os resultados debruçar-se-ão sobre a quantidade de tarefas reduzidas, os *picks* ganhos por hora, o tempo de serviço ganho e a percentagem de melhoria, sendo acompanhados de gráficos.

5.2. Resultados da Metodologia Atual

Os movimentos das paletes de produtos foram organizados pelos postos e mesas que visitaram durante uma volta, num ficheiro Excel. Assim, a determinação dos valores dos indicadores escolhidos torna-se rápida.

Relembrando que uma tarefa envolve a verificação de código e separação do produto e demora em média 58 segundos, e a deslocação produto em espera para a mesa de *picking* demora em média 50 segundos, também é possível colocar os valores calculados no formato temporal.

A Figura 18 mostra como se processa a obtenção dos dados das instâncias reais.

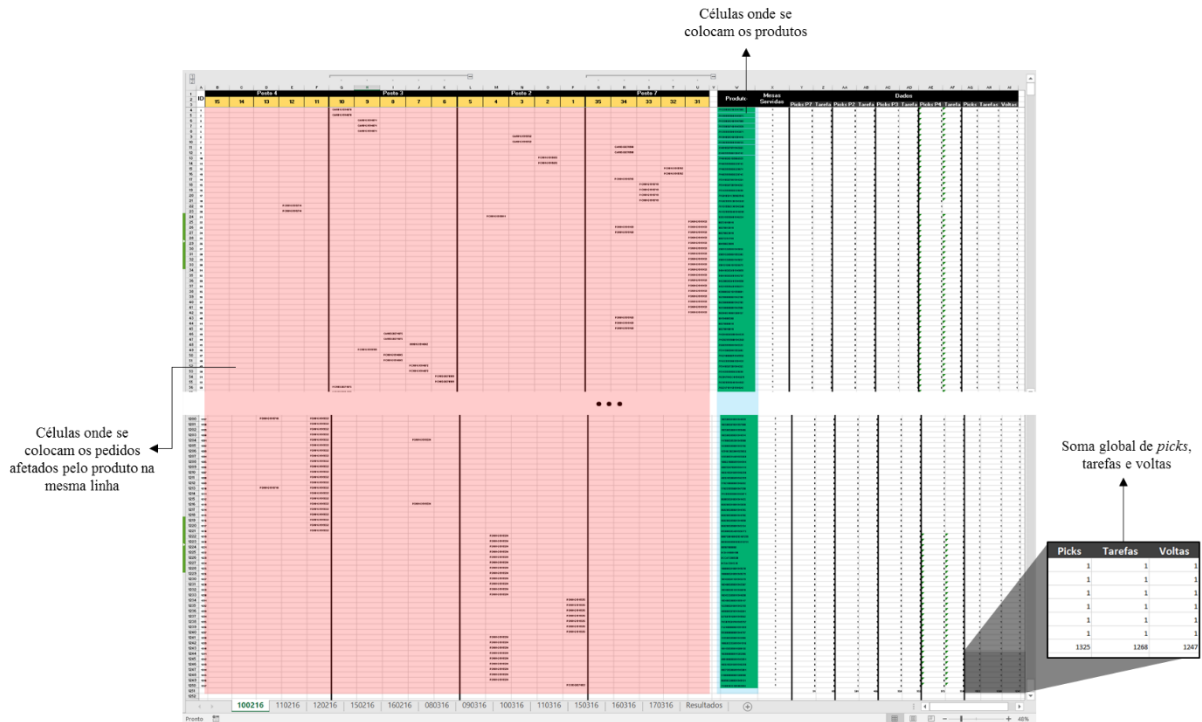


Figura 18 – Exemplo da organização dos resultados reais por dia (10/02/2016)

A Tabela 14 permite analisar os valores médios de cada indicador considerado.

Tabela 14 – Indicadores relativos aos dados das instâncias reais (valores médios)

<i>Picks</i>	Tarefas	Volta	<i>Picks/Tarefa</i>	Tarefas/Volta	<i>Picks/Volta</i>	Tempo Total (h:min:s)	<i>Picks/Hora</i>
1467	1385	1361	1,06	1,02	1,08	41:33:00	35,29

Os resultados detalhados encontram-se na Tabela 26 do Anexo E.

5.3. Resultados da Metodologia Proposta

A metodologia proposta foi testada através da aplicação desenvolvida. Os testes têm como objetivo avaliar a performance do modelo e elaborar as melhores combinações de 5 pedidos possíveis para reduzir o número de tarefas global.

Para cada dia considerado, foram realizadas 3 análises:

- Situação 1 – sem considerar as restrições do Plano de Distribuição: este teste vai estabelecer um valor máximo de melhoria;
- Situação 2 – apenas considerar a restrição do Posto 3: como este posto é aquele que recebe pedidos de maior prioridade, que devem ser lançados o mais rapidamente possível depois de serem recebidos, decidiu-se não correr a aplicação para a lista com pedidos dessa restrição, assumindo desde logo a pior das situações (1 *pick* por tarefa). A otimização é feita com os restantes pedidos e a melhor solução é agrupada com o caso do Posto 3;

- Situação 3 – considerar todas as restrições do Plano de Distribuição: depois de agrupar os pedidos por restrição, o programa foi corrido 10 vezes, uma para cada lista relacionada com a restrição associada. Tal como na Situação 2, a ferramenta apenas não foi utilizada para os pedidos que foram alocados na realidade ao Posto 3, e assumiu-se também 1 *pick* por tarefa. As melhores soluções obtidas para cada lista são agrupadas.

A primeira componente do algoritmo de alocação diminuiu iterativamente o número de tarefas necessário para fazer o mesmo número de *picks* para as 3 situações consideradas em todos os dias testados. A Figura 19 apresenta os gráficos das 3 situações do dia 12 de fevereiro.

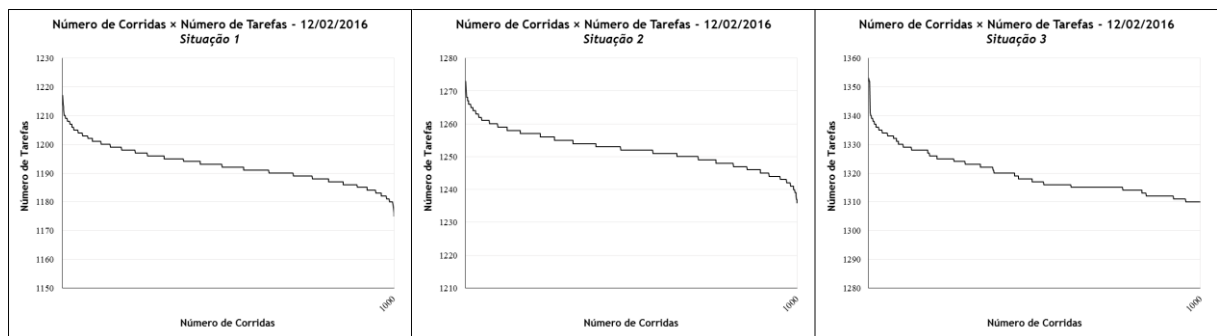


Figura 19 – Gráficos “Número de Corridas × Número de Tarefas” para cada situação do dia 12 de fevereiro

Isto significa que a probabilidade de alcançar melhores soluções aumenta consideravelmente se o algoritmo de pesquisa local for repetido. Além disso, a introdução da aleatoriedade na geração de grupos iniciais e vizinhanças aumenta a eficácia do procedimento.

A segunda componente registou pequenas melhorias a partir das melhores soluções obtidas na primeira componente, como se observa na Figura 20.

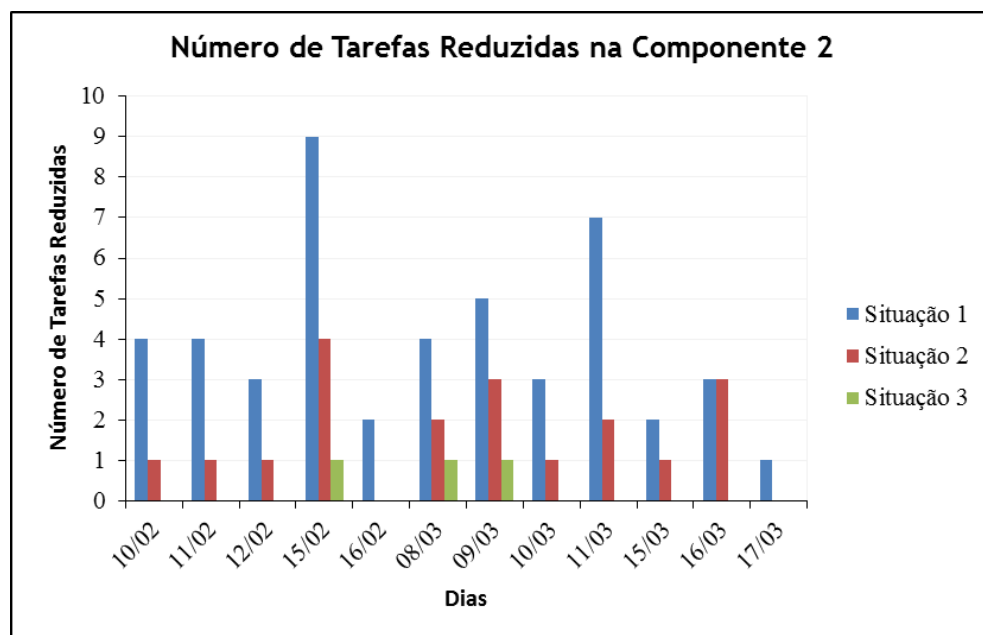


Figura 20 – Gráfico “Número de Tarefas Reduzidas na Componente 2” para cada situação dos dias analisados

O número de tarefas reduzidas através do efeito da Pesquisa Local Pura foi superior na Situação 1. Na Situação 3, apenas em 3 dos 12 dias analisados se conseguiu reduzir uma tarefa. Como a maioria das restrições formou poucos grupos, o número de trocas que ocorreu neste caso foi pequeno.

Os resultados médios dos indicadores das melhores soluções obtidas para cada situação são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Indicadores relativos às melhores soluções encontradas para cada dia e situação analisados (valores médios)

Situação	Tempo de Execução do Algoritmo (min:s)	Picks	Tarefas	Voltas	Picks/Tarefa	Tarefas/Volta	Picks/Volta	Tempo Total (h:min:s)	Picks/Hora
1	15:57	1467	1187	1187	1,24	1,00	1,24	35:36:54	41,18
2	02:30	1467	1248	1248	1,18	1,00	1,18	37:26:15	39,17
3	00:13	1467	1338	1338	1,10	1,00	1,10	40:09:09	36,52

Os tempos de execução do algoritmo através da aplicação criada são muito baixos, exceto na Situação 1 que não considera nenhuma restrição.

Os indicadores das melhores soluções obtidas para cada dia e situação são descritos na Tabela 27 do Anexo F.

5.4. Comparação de Metodologias

A Tabela 16 apresenta uma comparação de resultados entre a metodologia atual e os valores médios das 3 situações da metodologia proposta.

Tabela 16 – Comparação dos indicadores entre as metodologias

Comparação de Metodologias	Quantidade de Tarefas Reduzidas	Picks Ganhos/Hora	Tempo Ganho (h:min:s)	Percentagem de Melhoria (%)
Atual e Proposto – Situação 1	198	6	5:56:06	14,22%
Atual e Proposto – Situação 2	137	4	4:06:45	9,83%
Atual e Proposto – Situação 3	47	1	1:23:51	3,33%

Como se pode verificar, em termos médios, o algoritmo consegue obter ganhos em todos os objetivos.

O limite superior de melhoria corresponde à percentagem média da diferença da metodologia proposta sem considerar as restrições para a metodologia atual, ou seja, no máximo haverá uma redução de aproximadamente 14% em termos de tarefas.

O limite inferior corresponde ao potencial de redução que existe quando todas as restrições são consideradas, encontrando-se próximo dos 3%.

6. Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

O mercado está cada vez mais competitivo e as empresas estão pressionadas em melhorar a sua eficiência operacional para que a qualidade do seu serviço se mantenha em níveis elevados.

Atualmente, os gestores de operações devem tomar decisões em relação aos recursos que têm disponíveis dentro da organização, a partir de informações de natureza quantitativa que devem ser rigorosamente analisadas.

Os processos de Gestão e Planeamento de Armazéns têm ganho um lugar de destaque na cadeia de valor e requerem um crescente grau de especialização.

O *picking* de encomendas é a atividade que consome mais tempo e recursos nos armazéns, constituindo uma das principais áreas de análise para se obter ganhos de produtividade. Através de uma avaliação de vários parâmetros do sistema, identificou-se a existência de problemas a nível operacional e estratégico que impede melhorias de nível superior na eficiência do *picking*.

O principal fator limitante é a forma como os pedidos são alocados e sequenciados aos postos e mesas de separação, não havendo um plano estruturado que auxilie o Sistema de Gestão de Armazém na tomada de decisão.

Como o conteúdo dos pedidos não é analisado, existe um potencial de combinações que não está a ser devidamente aproveitado. Ao juntar no mesmo posto pedidos com produtos em comum, o número de tarefas necessário para completar esses pedidos será menor pois o número de movimentos realizados por palete diminui.

Num Centro de Distribuição, a normalização e automatização de processos de planeamento é muito importante, bem como a gestão integrada de dados que proporciona informação atualizada e consistente. A introdução de conceitos mais científicos tem como finalidade a redução do tempo produtivo dos colaboradores da empresa e os modelos são criados para apoiar as suas tomadas de decisão. Porém, note-se que nenhum modelo pode decidir autonomamente.

O objetivo primordial deste trabalho consistiu em demonstrar a vantagem da utilização de algoritmos heurísticos e metaheurísticos em problemas de otimização combinatória com esta complexidade em relação à metodologia usada na realidade.

Estas técnicas estabelecem um excelente compromisso entre a qualidade das soluções e a rapidez com que são geradas, algo que vai de encontro àquilo que as empresas procuram para que a tomada de decisão em tempo real seja quase imediata. A sua flexibilidade na adaptação às características de diferentes problemas é outra das vantagens que deve ser salientada.

Para o efeito, foi desenvolvido um modelo e uma ferramenta informática em Java adequada para testá-lo e validá-lo.

Os algoritmos heurísticos tendem a convergir para ótimos locais, deteriorando o valor da função objetivo. O desenvolvimento das metaheurísticas visa contornar esta desvantagem, aumentando a robustez e fiabilidade de todo o processo de pesquisa. A partir das heurísticas tradicionais, o estabelecimento de regras permite explorar o espaço de soluções com maior eficiência.

A utilização dos critérios de diversificação e intensificação em fases distintas da metodologia proposta foi fundamental para esse processo, pois permitiu explorar mais regiões que não tinham sido visitadas.

Utilizando pouco esforço computacional e tempos de execução curtos, foi possível obter um melhoramento progressivo das soluções.

Na primeira componente do algoritmo de alocação, foi feita uma pesquisa em largura (diversificação), resultando numa redução gradual do número de tarefas comparativamente com a metodologia atual. A segunda componente fez uma pesquisa em profundidade (intensificação)

e registou-se pequenas melhorias a partir das melhores soluções obtidas a partir da primeira componente.

Após a execução do algoritmo, o potencial de redução de tarefas obtido foi cerca de 3%, que pode atingir um máximo de 14%.

Conclui-se que a construção de metaheurísticas com forte base aleatória pela repetição dos algoritmos originais para a resolução deste tipo de problemas é uma abordagem que deve continuar a ser explorada, pois resulta rapidamente em soluções de boa qualidade.

Nesta fase, recorde-se que se procurou otimizar apenas a produtividade no posto, isto é, por tarefa. Caso a metodologia considerasse paralelamente a otimização por volta, os resultados poderiam ser ainda mais interessantes, já que uma paleta pode servir até 15 mesas (e não apenas até 5) numa volta no piso inferior.

As metaheurísticas de Pesquisa Local Aleatorizada e Pura foram as escolhidas para o projeto, pois não são muito complexas de programar e geram boas soluções de uma forma quase instantânea. A base do seu funcionamento está no mecanismo de geração das vizinhanças, que define o espaço da solução do problema.

A principal desvantagem do modelo engloba o número de simplificações introduzido. Também é preciso ter em consideração que, nos moldes atuais, esta aplicação não poderá ser utilizada de imediato pela CIN.

A génese de um Sistema de Apoio à Decisão completo na alocação e sequenciamento de pedidos aos postos de separação necessita de melhorias adicionais em 2 principais aspetos:

- Interface com o utilizador e a apresentação de resultados: o agente de decisão deverá utilizar a ferramenta de forma intuitiva e ter a possibilidade de alterar manualmente a solução;
- Transferência de dados para o sistema de informação utilizado pela empresa: a integração entre os sistemas teria sempre de ser analisada conjuntamente com a ULMA e as barreiras orçamentais de um projeto desta dimensão devem ser rigorosamente avaliadas. Normalmente, qualquer alteração profunda neste tipo de sistemas é muito dispendiosa.

Como perspetiva de desenvolvimento futuro, sugere-se a aplicação de outros métodos de otimização, nomeadamente dos algoritmos baseados na pesquisa tabu e arrefecimento simulado que foram identificados na revisão literária.

Estas metaheurísticas já foram testadas em problemas de otimização combinatória de vários contextos diferentes e geraram resultados muito satisfatórios. No entanto, o esforço computacional que requerem é superior.

Como foi referido, o modelo desenvolvido poderá ser alvo de diversas melhorias. Hoje em dia, existe uma gama muito grande de ferramentas informáticas de otimização que criam condições para que haja mais estudos e desenvolvimentos na área.

Adicionalmente, propõe-se um estudo para a otimização de pedidos por volta e o balanceamento dessas combinações pelos postos, distribuindo da forma mais equilibrada possível os grupos de 5 pedidos tendo em conta o número de tarefas.

Em suma, este trabalho visa contribuir para que as metaheurísticas continuem a ser uma aposta contínua na resolução de problemas de grande complexidade e constituir uma primeira abordagem na otimização de pedidos para a CIN.

Referências

- Almada-Lobo, B. (2007), “Lotsizing and Scheduling in the Glass Container Industry”, PhD Thesis. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Ashayeri, J. and Goetschalckx, M. (1989), “Classification and design of order picking”, *Logistics World*, 2(2): 99-106.
- Ballard, R. L. (1996), “Methods of inventory monitoring and measurement”, *Logistics Information Management*, 9(3): 11-18.
- Baker, P. (2004), “Aligning distribution center operations to supply chain strategy”, *International Journal of Logistics Management*, 15(1): 111-123.
- Baker, P., Croucher, P. and Rushton, A. (2010), “The Handbook of Logistics & Distribution Management”, 4th ed. London: Kogan Page Limited.
- Barr, R. S., Golden, B. L., Kelly, J. P., Resende, M. G. C. and Stewart Jr., W. R. (1995), “Designing and reporting on computational experiments with heuristic methods”, *Journal of Heuristics*, 1(1): 9-32.
- Bartholdi III, J. J. and Hackman, S. T. (2010), “Warehouse and Distribution Science”, The Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Blum, C. and Roli, A. (2003), “Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison”, *ACM Comput. Surv.*, 35(3): 268-308.
- Carravilla, M. A. and Oliveira, J. F. (2001), “Optimização Combinatória: Modelos e Algoritmos”. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Carvalho, J. M. C. de (2002), “Logística”, 3rd ed. Lisboa: Edições Sílabo.
- Chen, Z.-L. and Pundoor, G. (2006), “Order Assignment and Scheduling in a Supply Chain”, *Operations Research*, 54(3): 555-572.
- CIN – Corporação Industrial do Norte, S.A. (2016), “Informação Financeira – Relatórios & Contas”, último acesso: julho 2016, <http://www.cincoatings.com/portalc/portal/user/anon/page/sccrelatorios.psml?categoryOID=59818080800380GC&contentid=DB81808C80CO&nl=pt>.
- Cooper, M. C. and Lambert, D. M. (2000), “Issues in Supply Chain Management”, *Industrial Marketing Management*, 29(1): 65-83.
- Cooper, M. C., Lambert, D. M. and Pagh, J. D. (1998), “Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics”, *International Journal of Logistics Management*, 8(1): 1-13.
- De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K. J. (2007), “Design and control of warehouse order picking: a literature review”, *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501.
- Dias, J. C. Q. (2005), “Logística Global e Macrologística”, 1st ed. Lisboa: Edições Sílabo.
- Du, D.-Z. and Pardalos, P. M. (1998), “Handbook of Combinatorial Optimization”, New York: Springer.
- Gendreau, M. and Potvin, J.-Y. (2010), “Handbook of Metaheuristics”, 2nd ed. New York: Springer.
- Feo, T. A. and Resende, M. G. C. (1995), “Greedy randomized adaptive search procedures”, *Journal of Global Optimization*, 6: 109-133.
- Frazelle, E. H. (2002), “Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management”. New York: Mc Graw-Hill.

- Gu, J., Goetschalckx, M. and McGinnis, L. F. (2007), “Research on warehouse operation: A comprehensive review”, *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1-21.
- Giannini, R. (2007), “Aplicação de Ferramentas do Pensamento Enxuto na Redução de Perdas em Operações de Serviços”, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Glover, F. (1986), “Future paths for integer programming and links to artificial intelligence”, *Computers and Operations Research*, 13(5): 533-549.
- Guedes, P. A. (2012), “Armazenagem e Movimentação de Materiais”. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Hales, H. L. (2006), “Put your warehouse in order”, *Industrial Engineer*. USA: Georgia Tech Logistics Institute.
- Hansen, P. and Mladenović, N. (2001), “Variable neighborhood search: Principles and applications”, *European Journal of Operations Research*, 130: 449-467.
- Larman, C. and Vodde, B. (2009), “Lean Primer”, Versão 1.6, último acesso: abril 2016, http://www.leanprimer.com/downloads/lean_primer.pdf.
- Madureira, A. M. D. (1995), “Aplicações de Meta-Heurísticas em Problemas de Sequenciamento”. Dissertação de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores.
- Munro, R. A., Govindarajan, R. and Zrymiak, D. J. (2008), “Certified Six Sigma Green Belt Handbook”, 2nd ed. Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality (ASQ).
- Ohno, T. (1997), “O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala”. Porto Alegre: Bookman.
- Pinto, J. P. (2008), “Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras”, 1st ed. Lisboa: Lidel Edições Técnicas.
- Riggs, D. A. and Robbins, S. L. (1998), “The Executive's Guide to Supply Management Strategies: Building Supply Chain Thinking Into All Business Processes”. New York: AMACOM (American Management Association).
- Ropke, S. (2005), “Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems”, PhD Thesis, University of Copenhagen (DIKU).
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Houtum, G., Mantel, R. and Zijm, W. (2000), “Warehouse Design and Control: Framework and Literature Review”, *European Journal of Operational Research*, 122(3): 515-533.
- Shingo, S. (1989), “A study of the Toyota Production System from an industrial engineering viewpoint”. Portland, Oregon: Productivity Press.
- Talbi, E.-G. (2009), “Metaheuristics: From Design to Implementation”, John Wiley & Sons.
- Tompkins, J. A. and Smith, J. D. (1998), “The Warehouse Management Handbook”, 2nd ed. Raleigh: Tompkins Press.

ANEXO A: Cadastro de Artigos - Categoria de Localização

2º Dígito (Conteúdo)	Ranking de Empilhabilidade	Observações
0	9	Irrelevante (usado para Acessórios, Publicidade, etc...)
1	8	0,000-0,250L
2	7	0,251-1,000L
3	6	1,001-3,000L
4	5	3,001-9,000L
5	4	9,001-20,000L
6	3	20,001-30,000L
7	2	30,001-300,000L
8	1	>300L
9	0	Vários (usado para Repintura Automóvel, Dissolventes Puros, etc...)
Qualquer outro valor	0	Categoria "ESP", por exemplo

Figura 21 – Ranking de Empilhabilidade

3º Dígito	Classificação ABC	Observações
A	A	Grande Rotação (Paleta Americana)
B	B	Média Rotação (Paleta Americana)
C	C	Baixa Rotação (Paleta Americana)
E	A	Alta Rotação (Paleta Europeia)
F	B	Média Rotação (Paleta Europeia)
G	C	Baixa Rotação (Paleta Europeia)
Qualquer outro valor	C	Categoria "ESP", por exemplo

Figura 22 – Classificação ABC

ANEXO B: Automatismo

Tabela 17 – Tempos produtivos e não produtivos nos postos de separação

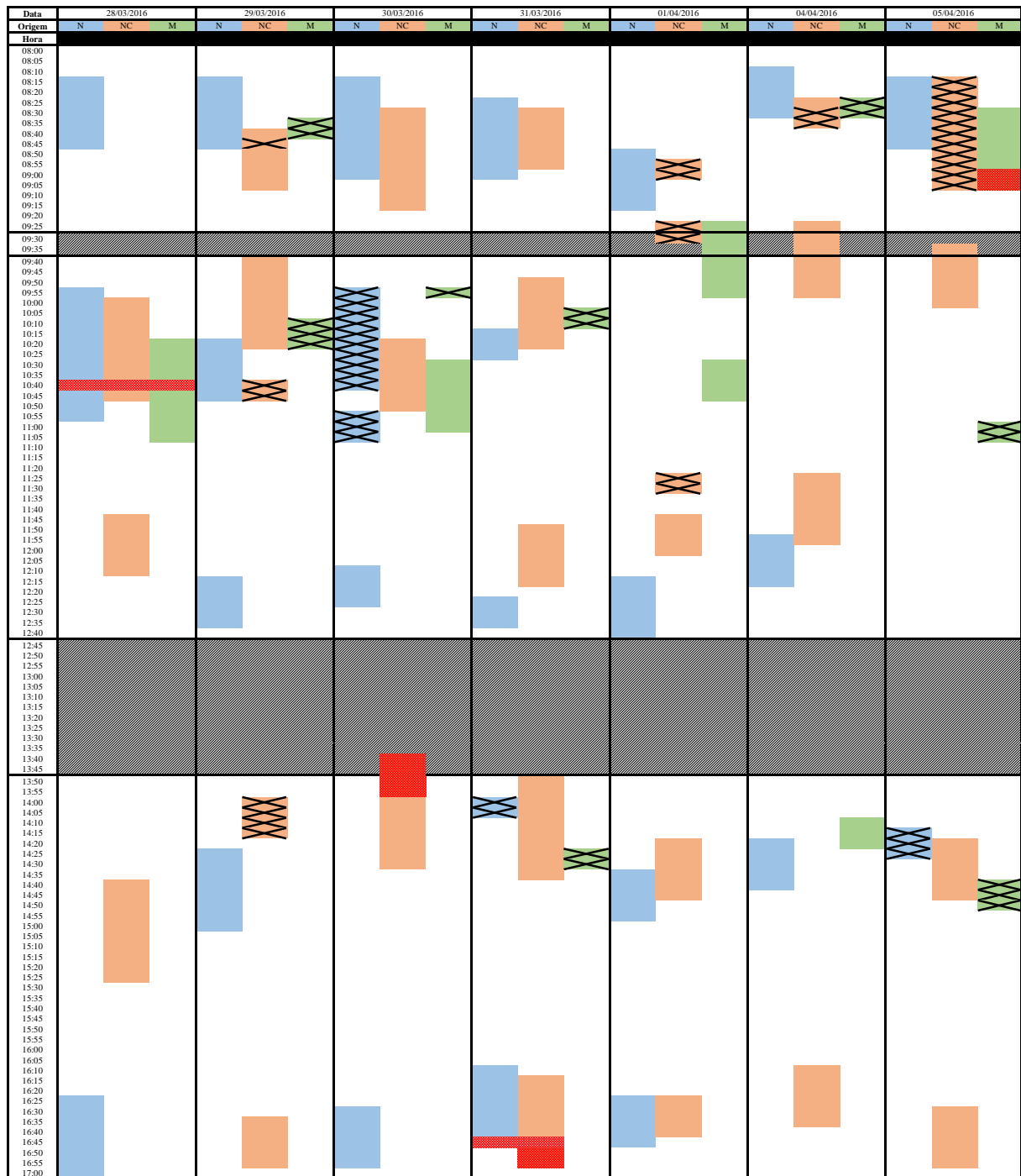
Posto	Operações		Paragens																		
	Verificação de Código e Separação do Produto	Verificação de Etiqueta e Contagem	Buffer Pré-Picking Vazio		Deslocação de Produto em Espera para a Mesa de Picking	Falta de Operador				Organização de Palete		Espera pelo VTD		Limpeza dos Produtos	Falta de Paletes no Lote	Falta de Material	Falta de Equipamento	Reset	Tapete de Saída Ocupado	Informação Incorreta do Produto	Paragem Injustificada
			Buffer de Posto Cheio (Tapete Parado)	Incidente com Palete no Tapete de Picking (Tapete Parado)		Deslocação a Outro Posto	Deslocação ao Miniload	Deslocação ao Robot	Deslocação à Zona de Consolidações	Colocação de Material	Colocação no Lote	Recolha de Palete	Reposição de Palete								
2	41,55%	3,74%	0,61%	2,02%	16,02%	11,32%	0,19%	0,00%	0,38%	12,16%	1,06%	2,47%	3,78%	0,51%	0,00%	0,00%	0,00%	0,30%	3,40%	0,48%	0,00%
3	30,90%	2,77%	0,25%	3,64%	22,16%	11,25%	6,85%	8,42%	1,25%	1,38%	0,11%	0,00%	0,96%	0,32%	0,00%	0,00%	0,00%	5,80%	1,66%	0,33%	1,95%
4	47,28%	2,45%	0,00%	2,52%	13,63%	6,93%	1,52%	0,68%	0,70%	10,78%	0,22%	4,46%	4,44%	0,30%	0,00%	0,00%	2,49%	0,83%	0,68%	0,00%	0,09%
7	54,86%	4,87%	0,74%	2,62%	14,33%	0,00%	0,18%	0,00%	0,77%	13,53%	1,42%	0,92%	0,56%	0,65%	0,00%	0,00%	0,00%	0,59%	2,98%	0,57%	0,40%

Posto	Tempo Analisado
2	15:42:18
3	25:38:14
4	14:09:03
7	10:03:21

Tabela 18 – Duração das operações de Verificação do Código e Separação do Produto

Operação	Dias Analisados			Tempo Total (h:min:s)	Percentagem (%)
	18-03-2016	21-03-2016	22-03-2016		
Verificação de Código	0:21:39	0:23:12	0:12:31	0:57:23	20,20%
Separação do Produto	1:30:52	1:27:18	0:48:34	3:46:43	79,80%

Tabela 19 – Horário de receções de produtos das 3 origens possíveis (Nováqua, N; Nave Central, NC; Megadur, M) cujo destino é armazenar dentro ou fora do Armazém Automático



Legenda:

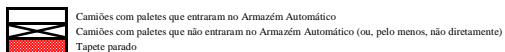


Tabela 20 – Tempo que os operadores demoram a corrigir os erros dos *robots*

Tipo	Tempos de Paragem			
	Abril (9 dias)	Maio (20 dias)	Total	Total (%)
<i>Horquilla</i> x Corredor 1	00:00:00	00:06:00	00:06:00	0,46%
<i>Horquilla</i> x Corredor 2	00:49:00	02:12:00	03:01:00	13,99%
<i>Horquilla</i> x Corredor 3	00:10:00	00:49:00	00:59:00	4,56%
<i>Horquilla</i> x Corredor 4	00:10:00	00:19:00	00:29:00	2,24%
<i>Horquilla</i> x Corredor 5	00:04:00	00:13:00	00:17:00	1,31%
<i>Horquilla</i> x <i>Miniload</i>	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0,00%
Perfil de Carga x Corredor 1	01:05:00	01:49:00	02:54:00	13,45%
Perfil de Carga x Corredor 2	00:23:00	01:21:00	01:44:00	8,04%
Perfil de Carga x Corredor 3	01:24:00	02:44:00	04:08:00	19,17%
Perfil de Carga x Corredor 4	00:25:00	00:52:00	01:17:00	5,95%
Perfil de Carga x Corredor 5	00:08:00	00:40:00	00:48:00	3,71%
Perfil de Carga x <i>Miniload</i>	00:09:00	00:11:00	00:20:00	1,55%
Viga Não Detetada x Corredor 1	00:02:00	00:00:00	00:02:00	0,15%
Viga Não Detetada x Corredor 2	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0,00%
Viga Não Detetada x Corredor 3	00:00:00	00:45:00	00:45:00	3,48%
Viga Não Detetada x Corredor 4	00:00:00	00:28:00	00:28:00	2,16%
Viga Não Detetada x Corredor 5	00:28:00	01:14:00	01:42:00	7,88%
Viga Não Detetada x <i>Miniload</i>	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0,00%
Outro x Corredor 1	00:00:00	00:13:00	00:13:00	1,00%
Outro x Corredor 2	00:00:00	00:01:00	00:01:00	0,08%
Outro x Corredor 3	00:00:00	00:01:00	00:01:00	0,08%
Outro x Corredor 4	00:06:00	00:38:00	00:44:00	3,40%
Outro x Corredor 5	00:08:00	01:18:00	01:26:00	6,65%
Outro x <i>Miniload</i>	00:05:00	00:04:00	00:09:00	0,70%
Total	05:36:00	15:58:00	21:34:00	100,00%

Tabela 21 – Tempo que os operadores demoram a fazer *resets* aos *robots*

Zona	Tempos de Paragem			
	Abril (9 dias)	Maio (20 dias)	Total	Total (%)
Geral	00:45:00	05:57:00	06:42:00	45,42%
Zona 1	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0,00%
Zona 2	00:25:00	02:34:00	02:59:00	20,23%
Zona 3	00:55:00	02:28:00	03:23:00	22,94%
Zona 4	00:29:00	01:08:00	01:37:00	10,96%
<i>Miniload</i>	00:00:00	00:04:00	00:04:00	0,45%
Total	02:34:00	12:11:00	14:45:00	100,00%

Tabela 22 – Tempo que os operadores demoram a corrigir os erros das enfardadoras

Erro	Enfardadora 348 – Tempos de Paragem				Enfardadora 352 – Tempos de Paragem			
	Abril (9 dias)	Maio (20 dias)	Total	Total (%)	Abril (9 dias)	Maio (20 dias)	Total	Total (%)
A	00:00:00	00:00:00	05:57:00	88,62%	00:01:30	00:09:30	00:11:00	2,56%
ALT	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0,00%	00:06:30	00:23:30	00:30:00	6,97%
P	00:17:20	02:33:40	05:07:40	76,38%	00:14:00	01:50:30	02:04:30	28,94%
Q	00:08:50	00:08:00	02:36:00	38,73%	00:05:00	00:02:30	00:07:30	1,74%
RES	00:08:00	00:41:00	01:49:00	27,06%	00:07:45	00:18:30	00:26:15	6,10%
RI	00:24:30	00:47:00	00:51:00	12,66%	00:08:00	00:47:00	00:55:00	12,78%
RS	00:20:00	00:31:00	12:42:00	189,16%	00:10:00	00:34:00	00:44:00	10,23%
T	00:00:30	00:07:00	00:07:30	1,86%	00:27:00	01:17:00	01:44:00	24,17%
O	00:14:00	00:22:00	00:36:00	8,94%	00:12:00	00:16:00	00:28:00	6,51%
Total	01:33:10	05:09:40	06:42:50	100,00%	01:31:45	05:38:30	07:10:15	100,00%

ANEXO C: Aplicação Desenvolvida

O teste e a validação de uma metodologia desta natureza tornar-se-ia mais célere recorrendo a uma ferramenta informática. Assim, foi desenvolvida uma aplicação em linguagem de programação Java, utilizando o ambiente de desenvolvimento NetBeans IDE 8.1 e a versão do compilador JDK 1.8 (Java Development Kit). O ficheiro designa-se por “KPICalc.java”. Os testes foram realizados em ambiente Windows. A opção por esta linguagem deve-se à sua abstração de dados, segurança, fácil programação, análise de desempenho do código durante o processo de desenvolvimento e necessidade de pouco tempo de processamento para gerar soluções.

Nesta secção, será descrita a sua estrutura geral e módulos principais, devidamente acompanhados de figuras explicativas.

O sistema é basicamente constituído por 7 módulos:

- 1) Leitura dos dados de entrada;
- 2) Geração aleatória de um grupo inicial;
- 3) Geração aleatória das vizinhanças (grupos vizinhos);
- 4) Avaliação de um grupo;
- 5) Melhoramento iterativo, formação dos grupos e geração de uma solução;
- 6) Geração de 1000 iterações e escolha da melhor solução;
- 7) Trocas de pedidos entre grupos diferentes da solução obtida em 6) e apresentação da solução final.

Leitura dos dados de entrada

Nesta fase do projeto, decidiu-se usar ficheiros simples de texto (.txt) para guardar os dados. Cada ficheiro deve corresponder a uma ordem de prioridade. Estes são constituídos por duas colunas: a primeira apresenta os pedidos e a segunda os produtos incluídos nesses pedidos.

A localização do ficheiro deve ser introduzida diretamente no código.

Ao correr o programa, a leitura dos ficheiros carrega 2 *arrays* onde está presente toda a informação obtida que vai ser usada no algoritmo, isto é, gera-se um *array* de pedidos e outro de produtos, não havendo repetição de dados. Esta funcionalidade permite a prevenção de erros e a manipulação de dados respeitantes a cenários diferentes.

Os pedidos são convertidos para formato numérico, de forma a facilitar os cálculos do programa. Cada *String* fica associada a um valor numérico único (“Pedido 1” = 0, “Pedido 2” = 1, etc.).

A Figura 23 esquematiza este módulo.

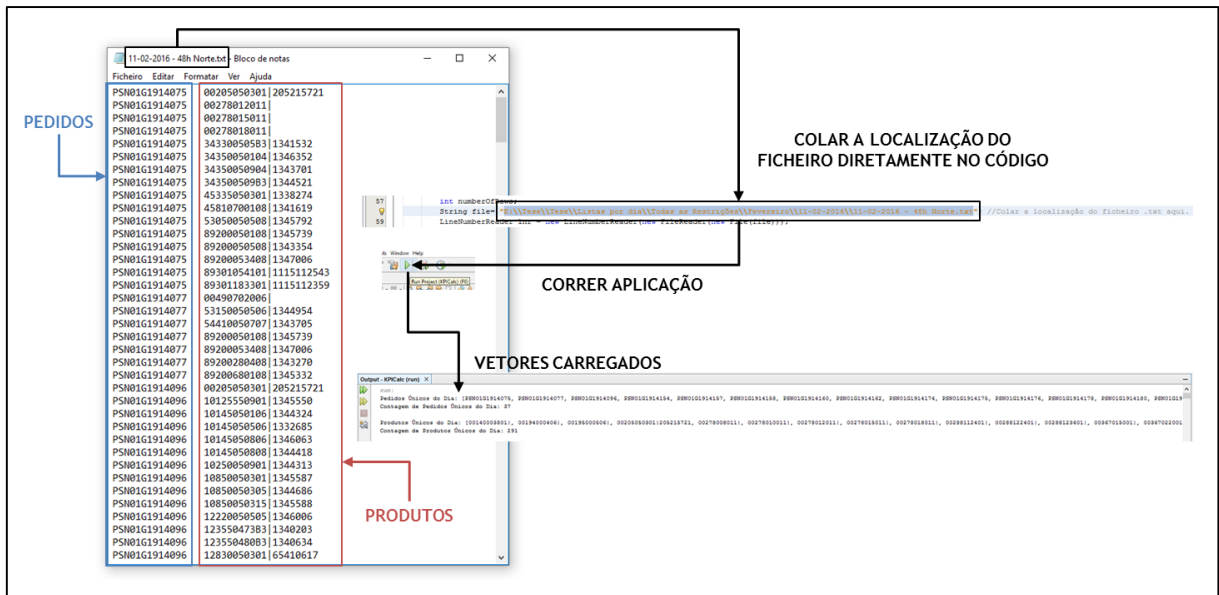


Figura 23 – Leitura dos dados de entrada

Geração aleatória de um grupo inicial de 5 pedidos

Este módulo permite a geração de um grupo inicial de 5 pedidos de uma forma aleatória, a partir do vetor de pedidos gerado após a leitura de dados, tal como se mostra na Figura 24.

```

152     for (int h = 0; h < uniqueOrdersCount / groupCount; h++) {
153         Collections.shuffle(Arrays.asList(ArrDecreasingOrders));
154         // System.out.println("Array de pesquisa misto: " + Arrays.deepToString(ArrDecreasingOrders)); //para debugging
155         // System.out.println("\n-----Começar " + (h + 1) + " Iteração de Grupo-----\n"); //para debugging
156     }

```

Figura 24 – Geração de um grupo inicial de 5 pedidos

Geração aleatória das vizinhanças

Cada um dos pedidos-candidatos substitui cada pedido incluído no grupo inicial, gerando 5 grupos vizinhos que serão avaliados no módulo seguinte. A ordem pela qual os pedidos geram as novas vizinhanças é feita ao acaso. O módulo pode ser visto na Figura 25.

```

173     double tempFinalOrderKPI = 0;
174     int[] ArrWorkingOrder;
175     int[] tempArr = new int[groupCount];
176     int temp = 0;
177
178     ArrWorkingOrder = ArrFinalOrder.clone();
179     for (int k = groupCount; k < ArrDecreasingOrders.length; k++) {
180         for (int m = 0; m < groupCount; m++) {
181             ArrWorkingOrder[m] = ArrDecreasingOrders[k];
182             returnInfo = CalculateKPI(Multi, ArrWorkingOrder, uniqueProductsCount);
183             tempFinalOrderKPI = returnInfo[0];

```

Figura 25 – Geração aleatória das vizinhanças

Avaliação de um grupo

Na Figura 26, verifica-se que este procedimento determina o valor do KPI combinado do grupo que está a ser testado. Se esse KPI for superior ao do grupo atual, o grupo é atualizado. Caso contrário, é descartado.

```

180 for (int m = 0; m < groupCount; m++) {
181     ArrWorkingOrder[m] = ArrDecreasingOrders[k];
182     returnInfo = CalculateKPI(Multi, ArrWorkingOrder, uniqueProductsCount);
183     tempFinalOrderKPI = returnInfo[0];
184
185     if (tempFinalOrderKPI > FinalOrderKPI) {
186         FinalOrderKPI = tempFinalOrderKPI;
187         FinalPicks = returnInfo[1];
188         FinalTasks = returnInfo[2];
189         tempArr = ArrWorkingOrder.clone();
190         temp++;
191     }
192
193     ArrWorkingOrder = ArrFinalOrder.clone();
194 }
195
196 if (temp > 0) {
197     temp = 0;
198     ArrFinalOrder = tempArr.clone();
199     ArrWorkingOrder = ArrFinalOrder.clone();
200 }

```

← CÁLCULO DO KPI COMBINADO

← AVALIAÇÃO DOS GRUPOS

Figura 26 – Cálculo do KPI combinado de um grupo e comparação com o grupo atual

Melhoramento iterativo, formação dos grupos e geração de uma solução

Quando todos os grupos forem avaliados, o grupo atual é guardado na primeira posição do array da solução, sendo nomeado “Grupo 1”.

Paralelamente, os pedidos desse grupo são removidos do vetor inicial de pedidos e o ciclo continua a formar os grupos até ao fim. Pode acontecer que o último grupo da solução tenha menos de 5 pedidos.

A solução gerada é guardada, tal como se demonstra na Figura 27.

```

243 System.out.println("----- RESULTADOS -----");
244 System.out.println();
245 System.out.println("Número Total de Pedidos: " + uniqueOrdersCount + "\n");
246 System.out.println();
247 System.out.println("Grupos de Pedidos organizados pelo KPI combinado:");
248
249 Map<String, Double> map = new HashMap<String, Double>();
250
251 for (int k = 0; k < SuperFinalOrders.length; k++) {
252     map.put(SuperFinalOrders[k], SuperFinalOrdersKPI[k]);
253 }
254
255 Map<String, Double> sortedMap = KPICalc.sortByValue(map);
256 int i = 1;
257
258 for (Map.Entry<String, Double> entry : sortedMap.entrySet()) {
259     if (i % 10 != 0) {
260         System.out.println("Pedido " + i + " = " + entry.getKey() + " KPI = " + entry.getValue());
261     } else {
262         System.out.println("Pedido " + i + " = " + entry.getKey() + " KPI = " + entry.getValue());
263     }
264     i++;
265 }
266
267 Integer remainingArr[] = ArrDecreasingOrders.clone();
268 int count = ArrDecreasingOrders.length;
269 double[] infoRemaining = CalculateKPI2(Multi, remainingArr, uniqueProductsCount, count);
270
271 System.out.println("----- Restantes Pedidos: -----");
272 if (count < 5 && count > 0) {
273     for (int k = 0; k < ArrDecreasingOrders.length; k++) {
274         System.out.println(uniqueOrderArr[ArrDecreasingOrders[k]] + " ");
275     }
276     System.out.println("Picks = " + infoRemaining[1] + " Tarefas = " + infoRemaining[2] + " KPI = " + infoRemaining[3] + "\n");
277 } else {
278     System.out.println("0 pedidos");
279 }
280 //Cálculo da soma das tarefas
281
282 int sumOfOneIterationKPI = 0;
283 for (int k = 0; k < SuperFinalOrdersTasks.length; k++) {
284     sumOfOneIterationKPI = sumOfOneIterationKPI + (int) SuperFinalOrdersTasks[k];
285 }
286 //double roundOff2 = (double) Math.round(sumOfOneIterationKPI * 1000) / 1000;
287 // System.out.println("Total sum of KPIs: " + roundOff2);
288 // ArrBestIteration[iteration] = roundOff2;
289 System.out.println();
290 System.out.println("Soma Total de Tarefas = " + (sumOfOneIterationKPI + (int) infoRemaining[2]));
291 ArrBestIteration[iteration] = sumOfOneIterationKPI + (int) infoRemaining[2];
292

```

Iteração: 1

----- AGRUPAMENTO DE PEDIDOS -----

----- RESULTADOS -----

Número Total de Pedidos: 37

Grupos de Pedidos organizados pelo KPI combinado:

Pedido 1: PSM01G1914400 PSM01G1914396 PSM01G1914076 PSM01G1914186 PSM01G1914096 Picks = 82 Tasks = 68 KPI = 1.206

Pedido 2: PSM01G1914176 PSM01G1914426 PSM01G1914162 PSM01G1914157 PSM01G1914176 Picks = 26 Tasks = 21 KPI = 1.19

Pedido 3: PSM01G1914189 PSM01G1914188 PSM01G1914077 PSM01G1914426 PSM01G1914180 Picks = 64 Tasks = 57 KPI = 1.123

Pedido 4: PSM01G1914182 PSM01G1914603 PSM01G1914174 PSM01G1914186 PSM01G1914158 Picks = 54 Tasks = 49 KPI = 1.102

Pedido 5: PSM01G1914399 PSM01G1914184 PSM01G1914176 PSM01G1914671 PSM01G1914176 Picks = 88 Tasks = 84 KPI = 1.048

Pedido 6: PSM01G1914117 PSM01G1914458 PSM01G1914421 PSM01G1914118 PSM01G1914154 Picks = 14 Tasks = 14 KPI = 1.0

Pedido 7: PSM01G1914160 PSM01G1914069 PSM01G1914188 PSM01G1914446 PSM01G1914128 Picks = 36 Tasks = 36 KPI = 1.0

Restantes Pedidos:

PSM01G1914536 PSM01G1914412 Picks = 19.0 Tarefas = 19.0 KPI = 1.0

Soma Total de Tarefas = 342

GERAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO

Figura 27 – Geração de uma solução

Geração de 1000 iterações e escolha da melhor solução

Os módulos anteriores são repetidos 1000 vezes para gerar 1000 soluções admissíveis. Este número de iterações pode ser alterado. Quanto maior for este valor, maior será a tendência para encontrar melhores soluções. No entanto, o tempo de processamento também aumenta. Como é do interesse da empresa gerar soluções da forma mais rápida possível, considerou-se que esse valor é suficiente.

Todas soluções são apresentadas com detalhe. Após este processo estar concluído, a ferramenta também gera uma lista resumida das iterações, contendo apenas o número da iteração e o correspondente número de tarefas. Esta lista é útil para criar gráficos do tipo “Número de Corridas × Número de Tarefas”.

No fim, a solução que minimiza o número de tarefas global é apresentada.

A sequência está ilustrada na Figura 28.



Figura 28 – Geração de 1000 iterações e escolha da melhor solução

Trocas de pedidos entre grupos diferentes da solução obtida e apresentação da solução final

A partir da solução obtida no módulo anterior, efetuam-se trocas de pedidos entre grupos diferentes.

Se a troca melhorar a solução, então acontece, é listada e gera-se uma nova solução. O processo de trocas continua e, se no fim de um ciclo tiver havido no mínimo uma troca, um novo ciclo é gerado até deixar de se registrar trocas. A apresentação da solução final acontece no final dos resultados. A Figura 29 esquematiza este passo.

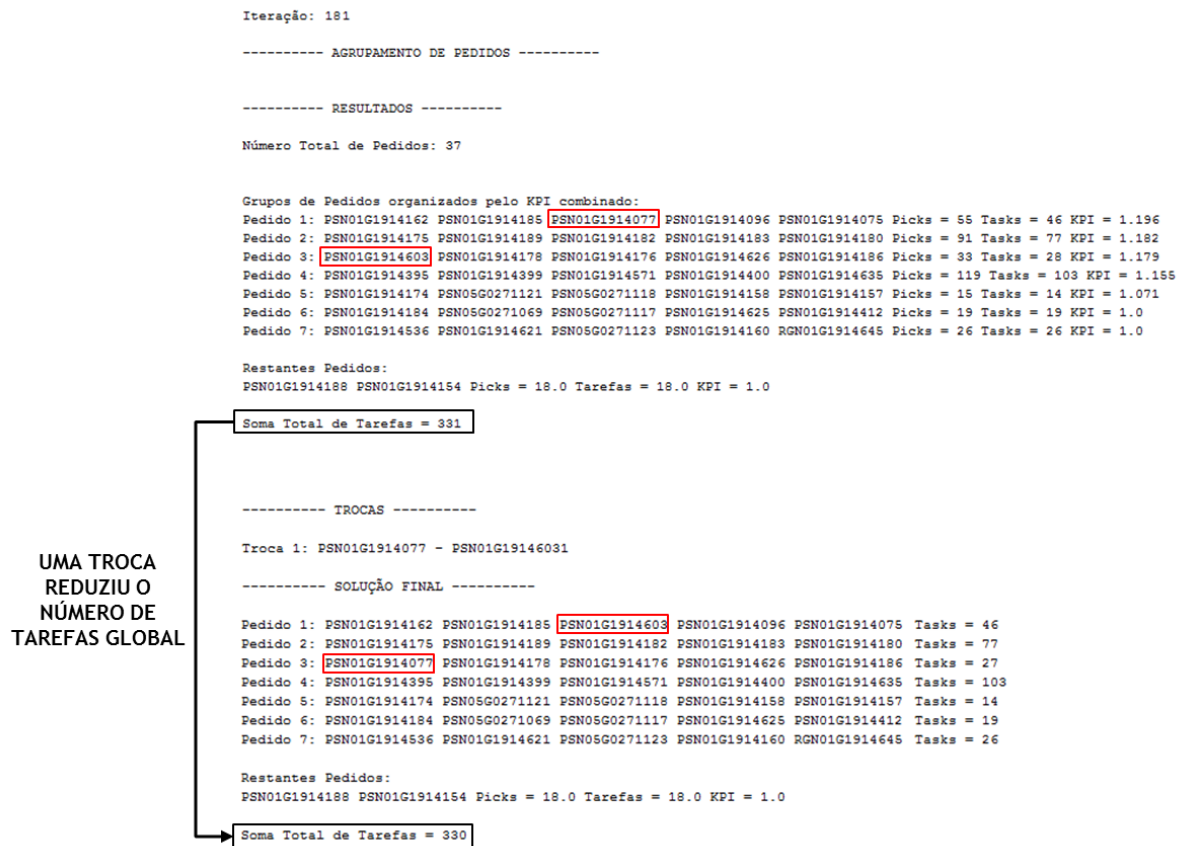


Figura 29 – Trocas de pedidos entre grupos diferentes da solução obtida e apresentação da solução final

ANEXO D: Omissão de Produtos que afetam apenas um Pedido

Por exemplo, imagine-se que num dia havia 6 pedidos que poderiam incluir 7 produtos. Compare-se as duas possibilidades de grupos com melhor KPI, na Tabela 23.

Tabela 23 – Cálculo do KPI combinado dos 2 grupos sem haver remoção das linhas correspondentes aos produtos que afetam apenas um pedido

Grupo 1								Grupo 2							
	Pedido 1	Pedido 2	Pedido 3	Pedido 4	Pedido 5	Picks	Tarefas		Pedido 1	Pedido 6	Pedido 3	Pedido 4	Pedido 5	Picks	Tarefas
Produto 1	1	1	1	1	1	5	1		1	1	1	1	1	5	1
Produto 2	1	1	1	1	1	5	1		1	1	1	1	1	5	1
Produto 3	1	0	1	1	1	4	1		1	1	1	1	1	5	1
Produto 4	1	1	1	1	1	5	1		1	1	1	1	1	5	1
Produto 5	0	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	1	1
Produto 6	0	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	1	1
Produto 7	0	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	1	1
Total								Total							
KPI								KPI							
19								23							
4,75 picks/tarefa								3,29 picks/tarefa							

O KPI do Grupo 2 é afetado pelo facto de este ter 3 produtos únicos, que vai fazer com que haja 3 tarefas com apenas 1 *pick* cada. Porém, esse grupo seria a melhor opção, como se demonstra na Tabela 24.

Tabela 24 – Cálculo do número de tarefas das duas possibilidades de solução consideradas

						Picks	Tarefas							Picks	Tarefas
1.º Grupo	Pedido 1	Pedido 2	Pedido 3	Pedido 4	Pedido 5	19	4		Pedido 1	Pedido 6	Pedido 3	Pedido 4	Pedido 5	23	7
2.º Grupo	Pedido 6					7	7		Pedido 2					3	3
					Total	26	11						Total	26	10

ANEXO E: Resultados Detalhados da Metodologia Atual

Tabela 26 – Indicadores relativos aos dados das instâncias reais para cada dia analisado

Dia	Indicadores Analisados							
	<i>Picks</i>	<i>Tarefas</i>	<i>Voltas</i>	<i>Picks/Tarefa</i>	<i>Tarefas/Volta</i>	<i>Picks/Volta</i>	<i>Tempo Total (h:min:s)</i>	<i>Picks/Hora</i>
10/02	1325	1268	1247	1,04	1,02	1,06	38:02:24	34,83
11/02	1469	1408	1379	1,04	1,02	1,07	42:14:24	34,78
12/02	1451	1366	1342	1,06	1,02	1,08	40:58:48	35,41
15/02	1750	1673	1632	1,05	1,03	1,07	50:11:24	34,87
16/02	1254	1166	1137	1,08	1,03	1,10	34:58:48	35,85
08/03	1583	1517	1495	1,04	1,01	1,06	45:30:36	34,78
09/03	1598	1529	1501	1,05	1,02	1,06	45:52:12	34,84
10/03	1442	1358	1333	1,06	1,02	1,08	40:44:24	35,40
11/03	1719	1606	1589	1,07	1,01	1,08	48:10:48	35,68
15/03	1648	1501	1484	1,10	1,01	1,11	45:01:48	36,60
16/03	1645	1541	1520	1,07	1,01	1,08	46:13:48	35,58
17/03	714	687	675	1,04	1,02	1,06	20:36:36	34,64

ANEXO F: Resultados Detalhados da Metodologia Proposta

Tabela 27 – Indicadores relativos às melhores soluções encontradas para cada dia e situação analisados

Dia	Indicadores Analisados								
	Situação	Picks	Tarefas	Voltas	Picks/Tarefa	Tarefas/Volta	Picks/Volta	Tempo Total (h:min:s)	Picks/Hora
10/02	1	1325	1096	1096	1,21	1,00	1,21	32:52:48	40,30
	2	1325	1162	1162	1,14	1,00	1,14	34:51:36	38,01
	3	1325	1234	1234	1,07	1,00	1,07	37:01:12	35,79
11/02	1	1469	1201	1201	1,22	1,00	1,22	36:01:48	40,77
	2	1469	1261	1261	1,16	1,00	1,16	37:49:48	38,83
	3	1469	1362	1362	1,08	1,00	1,08	40:51:36	35,95
12/02	1	1451	1175	1175	1,23	1,00	1,23	35:15:00	41,16
	2	1451	1236	1236	1,17	1,00	1,17	37:04:48	39,13
	3	1451	1310	1310	1,11	1,00	1,11	39:18:00	36,92
15/02	1	1750	1432	1432	1,22	1,00	1,22	42:57:36	40,74
	2	1750	1499	1499	1,17	1,00	1,17	44:58:12	38,91
	3	1750	1596	1596	1,10	1,00	1,10	47:52:48	36,55
16/02	1	1254	1011	1011	1,24	1,00	1,24	30:19:48	41,35
	2	1254	1079	1079	1,16	1,00	1,16	32:22:12	38,74
	3	1254	1134	1134	1,11	1,00	1,11	34:01:12	36,86
08/03	1	1583	1277	1277	1,24	1,00	1,24	38:18:36	41,32
	2	1583	1336	1336	1,18	1,00	1,18	40:04:48	39,50
	3	1583	1467	1467	1,08	1,00	1,08	44:00:36	35,97
09/03	1	1598	1311	1311	1,22	1,00	1,22	39:19:48	40,63
	2	1598	1386	1386	1,15	1,00	1,15	41:34:48	38,43
	3	1598	1476	1476	1,08	1,00	1,08	44:16:48	36,09
10/03	1	1442	1163	1163	1,24	1,00	1,24	34:53:24	41,33
	2	1442	1216	1216	1,19	1,00	1,19	36:28:48	39,53
	3	1442	1302	1302	1,11	1,00	1,11	39:03:36	36,92
11/03	1	1719	1360	1360	1,26	1,00	1,26	40:48:00	42,13
	2	1719	1419	1419	1,21	1,00	1,21	42:34:12	40,38
	3	1719	1559	1559	1,10	1,00	1,10	46:46:12	36,75
15/03	1	1648	1284	1284	1,28	1,00	1,28	38:31:12	42,78
	2	1648	1347	1347	1,22	1,00	1,22	40:24:36	40,78
	3	1648	1453	1453	1,13	1,00	1,13	43:35:24	37,81
16/03	1	1645	1342	1342	1,23	1,00	1,23	40:15:36	40,86
	2	1645	1416	1416	1,16	1,00	1,16	42:28:48	38,72
	3	1645	1501	1501	1,10	1,00	1,10	45:01:48	36,53
17/03	1	714	594	594	1,20	1,00	1,20	17:49:12	40,07
	2	714	618	618	1,16	1,00	1,16	18:32:24	38,51
	3	714	667	667	1,07	1,00	1,07	20:00:36	35,68